



Karakterisering av polymerytor och deras tillämpning inom mikrobiologi

Stiina Tolvanen, 40720

stiina.tolvanen@abo.fi

Pro gradu-avhandling i kemi

Handledare: prof. Jouko Peltonen och Emil Rosqvist

Inriktning fysikalisk kemi

Laboratoriet för molekylärvetenskap och -teknik

Fakulteten för naturvetenskaper och teknik

Åbo Akademi

2019-2020

Förord

Arbetet med denna avhandling gjordes vid laboratoriet för fysikalisk kemi vid Åbo Akademi. Jag vill rikta ett stort tack till alla de som på ett eller annat sätt har hjälpt eller stöttat mig igenom den här processen, vare sig det gäller praktiska saker eller annat stöd. Från första stund har jag känt mig välkommen, uppmuntrad, stöttad och respekterad på Gados tredje våning.

Ett speciellt tack till mina handledare, professor Jouko Peltonen och Emil Rosqvist för all handledning, feedback och hjälp. Speciellt vill jag säga tack (och förlåt) till Emil för att du alltid tålmodigt tog dig tid att svara på mina (ibland på gränsen till dumma) frågor och hjälpa mig i labbet. Jag vill inte gå så långt och påstå att jag har njutit av graduprocessen, men den har i alla fall inte känts helt oöverkomlig tack vare handledningen jag fått.

Jag vill tacka alla mina vänner, både de som jag känt längre och de som jag lärt känna under studietiden. Även om det har funnits stunder som har känts frustrerande och överväldigande kan jag med facit i hand säga att studietiden har varit ett rent nöje på grund av er alla. Älskar er <3!

Till sist vill jag säga tack till Karin för att jag har fått komma och leka med dig och har fått ha stunder då jag har kunnat tänka på annat än studier, avhandlingar och annat tråkigt. Ibland måste även en 20+:are få bygga lego och spela spel för att ha lite balans i livet.

Stiina Tolvanen

Åbo, februari 2020

Abstrakt

Bakteriecellers adhesion och tillväxt på olika ytor kan ge upphov till en mängd olika problem. För att det ska vara lättare att bekämpa bakterieadhesionen är det viktigt att faktorer som påverkar adhesionen är kända. Det har visat sig att bakterieadhesionen beror på en stor mängd olika faktorer, även om en del av de tillgängliga forskningsresultaten ger motstridiga resultat.

Syftet med denna avhandling var att undersöka bakterieadhesionen till olika polymerytor. Polymerytorna bestod av en blandning av en hård och hydrofob latex samt en mjuk och hydrofil latex. Då blandningsförhållandet mellan dessa latexer ändrades, kunde ytstrukturen och ytkemin för polymerytorna modifieras. Latexytorna tillverkades genom att ytbelägga täckglas med en droppe latexblandning. Efter torkning genomgick proven IR-behandling samt värmebehandling i ugn.

Ytråheten och ytenergin för en kommersiell latexserie karakteriserades med atomkraftsmikroskopi respektive kontaktvinkelmätningar. Med atomkraftsmikroskopet skapades tredimensionella bilder av de tillverkade ytorna och genom bildanalys var det möjligt att komma fram till ett antal olika ytråhetsparametrar som möjliggjorde en mångsidig beskrivning av ytorna. Kontaktvinklarna mellan substraten och ett antal olika vätskor användes för att med modellerna av Owens-Wendt-Rabel-Kaelble (OWRK) och van Oss-Chaudhury-Good (vOCG) beräkna olika ytenergikomponenter.

Bakterieadhesionen till latexytorna undersöktes genom att jämföra hur enskilda ytråhetsparametrar samt ytenergikomponenter korrelerar med adhesionen och tillväxten av bakterien *Staphylococcus aureus*. Resultaten visar att den högsta bakterieadhesionen korrelerade med ett högre värde på vissa ytråhetsparametrar (såsom S_q , S_{dr} , S_{cl} , S_{dq} och $S_{dc50-95}$) och den polära och polärt negativa ytenergikomponenten, samt ett lägre värde på den totala, dispersiva och polärt positiva ytenergikomponenten. Det fanns också ytråhetsparametrar vars korrelation med bakterieadhesionen inte behövde vara verklig och betydande för rapporteringen. Resultaten uppvisade höga felgränser, vilket betyder att exakta slutsatser om hur ytråheten och ytkemin påverkar adhesionen av bakterier inte kan dras.

Eftersom den exakta sammansättningen i de använda kommersiella latexerna var okänt, undersöktes även en annan latexserie med dispersioner tillverkade av CH-Polymers. Bakterietillväxten på dessa latexytor kunde dock inte direkt undersökas, eftersom adhesionen

mellan latex och glas var dålig, och proven förstördes vid kontakt med vätska. Båda latexserierna uppvisade en liknande ytstruktur, vilket indikerar att båda kunde lämpa sig för bakteriestudier på motsvarande sätt. Det fanns dock vissa skillnader i ytenergikomponenterna för de olika serierna, vilket i sin tur kan påverka bakterieadhesionen.

På grund av den dåliga adhesionen till glas stavbestryktes den andra latexserien också på papper. Det latexbestrykta pappret kunde användas för bakteriecellsstudier, där en PDMS-yta styr bakteriecellerna till områden på pappret där latexytan är blottlagd. I dessa brunnar kunde latexytan gynna bakteriernas adhesion och tillväxt. Pappret kunde således fungera som ett underlag på vilket bakterieresponsen på exempelvis olika ämnen snabbt och enkelt kunde undersökas.

Nyckelord: *Bakterieadhesion, latexytor, ytråhet, ytkemi, ytråhetsparametrar, ytenergikomponenter, karakterisering av polymerytor, atomkraftsmikroskopi*

Innehållsförteckning

Förord	ii
Abstrakt	iii
Innehållsförteckning	v
Figurer	vii
Tabeller	viii
1. Introduktion	1
2. Ytkemi	3
2.1. Vätning	3
2.2. Vätning av ideala ytor.....	5
2.3. Vätning av verkliga ytor	7
2.4. Metoder för mätning av kontaktvinklar	9
2.5. Beräkning av ytenergier.....	11
2.6. Owens-Wendt-Rabel-Kaelble-metoden.....	12
2.7. van Oss-Chaudhury-Good-metoden (syra-bas-metoden)	13
2.8. Zisman-metoden	14
2.9. Tillståndsekvation-metoden.....	14
3. Bakteriers adhesion och tillväxt på ytor	16
3.1. Ytråhetens påverkan på bakterieadhesion och -tillväxt.....	16
3.2. Ytkemins påverkan på bakterieadhesion och -tillväxt.....	18
4. Målsättningar	21
5. Experimentuppställning och material	23
5.1. Latexytor.....	23
5.1.1. Droppbeläggning av täckglas	23
5.1.2. Stavbetrykning på papper	24
5.1.3. Flexografisk printning av PDMS	24
5.2. Atomkraftsmikroskopi.....	25

5.2.1	Adhesionstest av latexytor	26
5.3.	Kontaktvinkelmätning	27
5.4.	Bakterieadhesion och tillväxt	28
6.	Resultat	29
6.1.	Yttopografi.....	29
6.2.	Ytenergier	36
6.3.	Adhesion och tillväxt av <i>S. aureus</i>	42
7.	Diskussion	50
7.1.	Tillverkning av latexytorna	50
7.2.	Ytråhet av latexytorna	51
7.3.	Kontaktvinklar och ytenergier för latexytorna	52
7.4.	Bakterieadhesionens samband med ytråheten	55
7.5.	Bakterieadhesionens samband med ytenergin	58
7.6.	Pappersbaserad plattform för cellstudier	61
8.	Avslutning och slutsatser	63
	Referenser	65
	Bilagor	69
	Bilaga 1. Tillverkarens specifikationer för CHP 5131.1 och CHP 5131.3	
	Bilaga 2. Ytråhetsdata för de kommersiella latexblandningarna.	
	Bilaga 3. Ytråhetsdata för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på täckglas	
	Bilaga 4. Ytråhetsdata för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper	
	Bilaga 5. AFM-bilder för hela den kommersiella serien.....	
	Bilaga 6. AFM-bilder för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas.....	
	Bilaga 7. AFM-bilder för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper.	
	Bilaga 8. Kontaktvinklarna för alla serier, korregerade med S_{dr}	
	Bilaga 9. Abbott-Firestone kurva för en kommersiell 50:50-yta.	

Figurer

Figur 1. En vätskedroppe på en fast yta samt kontaktvinkeln θ mellan droppen och ytan	3
Figur 2. Wenzel- och Cassie-modellen för vätning.....	5
Figur 3. Gibbs fria energi som funktion av kontaktvinkeln för en ideal yta	6
Figur 4. Gibbs fria energi som funktion av kontaktvinkeln för en verklig yta.....	7
Figur 5. Avancerande och tillbakadragande kontaktvinkeln.....	11
Figur 6. Exempel på en Zisman-plottning.....	14
Figur 7. Instrumentuppställningen för den flexografiska printningen.	25
Figur 8. Atomkraftsmikroskopet som användes för att mäta ytstrukturen för polymerytorna.	26
Figur 9. S_q som funktion av andelen PS i den kommersiella serien PS:ABS.	30
Figur 10. S_q som funktion av andelen hård komponent för serien CHP 5131.3:CHP 5131.1.	30
Figur 11. S_q som funktion av procentandelen hård komponent för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper.	31
Figur 12. S_{dr} som funktion av procentandelen PS i den kommersiella serien PS:ABS.	32
Figur 13. S_{dr} som funktion av procentandelen CHP 5131.3 på glas.	32
Figur 14. S_{dr} som funktion av andelen CHP 5131.3 för serien på papper.....	33
Figur 15. S_q/S_{cl37} som funktion av procentandelen hård komponent i alla tre latexserier. Punkterna är sammanbundna för tydlighetens skull.....	34
Figur 16. Yttopografiska bilder för 100 % mjuk komponent för kommersiella latexserien (till vänster) samt den mjuka komponenten CHP 5131.1 på glas (i mitten) och på papper (till höger).	35
Figur 17. Yttopografiska bilder för 100 % hård komponent för kommersiella latexserien (till vänster) samt den hårda komponenten CHP 5131.3 på glas (i mitten) och på papper (till höger).	35
Figur 18. Den totala ytenergin för alla tre latexserier.	39
Figur 19. Den dispersiva ytenergikomponenten för alla tre latexserier.	39
Figur 20. Den polära komponenten för alla tre serier.	40
Figur 21. Den polärt positiva komponenten för alla tre serier.	41
Figur 22. Den polärt negativa komponenten för alla tre serier.	41
Figur 23. Bakterieadhesionen för de olika latexblandningarna i den kommersiella serien med den statistiska modellen. Felgränserna visar den absoluta standardavvikelsen.	42

Figur 24. Bakterieadhesionen för de olika latexblandningarna i den kommersiella serien med den dynamiska modellen. Felgränserna anger den absoluta standardavvikelsen.....	43
Figur 25. Bakterieadhesionen som funktion av S_q för den kommersiella serien.....	45
Figur 26. Bakterieadhesionen som funktion av S_{dr}	45
Figur 27. Bakterieadhesionen som funktion av S_q/S_{cl37}	46
Figur 28. Bakterieadhesionen och γ^{tot} som funktion av andelen PS.....	47
Figur 29. Bakterieadhesionen och γ^d som funktion av andelen PS.	47
Figur 30. Bakterieadhesionen och γ^p som funktion av procentandelen PS.	48
Figur 31. Bakterieadhesionen och syrakomponenten som funktion av % PS.....	49
Figur 32. Bakterieadhesionen och baskomponenten som funktion av % PS.	49
Figur 33. Bild av en pappersbaserad plattform som kunde användas som substrat för cellstudier.	61

Tabeller

Tabell 1. Ytenergikomponenter för de använda mätvätskorna, enligt van Oss, Chaudhury och Good.....	27
Tabell 2. Uppmätta kontaktvinklar och deras standardavvikelser för den kommersiella serien PS:ABS.....	37
Tabell 3. Kontaktvinklar och standardavvikelser för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på täckglas..	37
Tabell 4. Kontaktvinklar och standardavvikelser för CHP 5131.3:CHP 5131.1 stavbetrykt på papper	38
Tabell 5. Kontaktvinklar och ytenergikomponenter för PDMS samt papper.....	42
Tabell 6. Bakterieadhesionen och parametrarna S_a , S_{10z} , S_{dc50_95} , S_y , S_{dq} , S_{dq6} , S_v och S_{vk} för de olika latexblandningarna i den kommersiella serien	44

1. Introduktion

Bakterieceller brukar fästa sig på ytor och bilda så kallade biofilmer som en skyddsmekanism. Biofilmerna är multicellulära strukturer som skyddar bakterierna från yttre faktorer. Bildandet av biofilmer är ännu idag ett stort problem som ger svårigheter både ur ett hälsoperspektiv och ur ett ekonomiskt perspektiv. Det första steget i bildandet av biofilmer är adhesion av planktoniska, fritt rörliga, bakterieceller. Eftersom de bildade biofilmerna ofta är väldigt starka och motståndskraftiga, är det mer ändamålsenligt att förhindra den primära bakterieadhesionen istället för att försöka bekämpa redan bildade biofilmer [1].

I vissa tillämpningar är det eftersträvarsvärt att ha en så hög bakterieadhesion som möjligt. Exempel på dylika tillämpningar är plattformar för bakteriecellstudier, där substratyten kan modifieras så att interaktionerna och adhesionen mellan cellerna och substratet maximeras. Papper är ett lovande material för cellstudieplattformar, eftersom det ger ett lättanvänt och kostnadseffektivt alternativ till traditionella material [2]. På en pappersbaserad cellstudieplattform kunde man snabbt få information om exempelvis hur vissa substanser påverkar tillväxten av cellerna.

Bakteriers adhesion till ytor är ett väldigt komplext fenomen som grundar sig på en mängd olika biokemiska och fysikalisk-kemiska egenskaper hos både cellen och substratet [3]. Vad gäller ytegenskaper hos substrat har exempelvis effekten av ytenergi, hydrofilicitet och -fobicitet samt ytråhet på bakterieadhesionen till ytan analyserats. Det finns dock en del opålitliga och motstridiga resultat, vilket endast ytterligare förstärker den komplexa bilden av bakterieadhesionen [1].

I detta arbete har bakteriers adhesion till olika polymerytor undersökts. Som ovan redan nämnts påverkas adhesionen av bakterieceller på ytor av ett stort antal faktorer hos substratet, och detta arbete fokuserar på ytråhet och ytenergi hos polymerytorna. Karakteriseringen av ytor med tanke på ytråhet och ytenergi är relativt enkel att utföra. En stor del av tidigare undersökningar har fokuserat på endast en faktor istället för att undersöka flera faktorer parallellt, vilket skulle vara mer ändamålsenligt och ge mera pålitliga resultat.

Den första delen av detta arbete beskriver vätning och hur vätning av verkliga ytor skiljer sig från vätning av ideala ytor, hur kontaktvinkeln mellan ett material och en vätska kan mätas samt

hur kontaktvinkeldata kan användas för uträkning av ytenergier. Ett flertal olika metoder för både kontaktvinkelmätning och beräkning av ytenergier behandlas.

I den andra delen av arbetet beskrivs bakteriers adhesion och tillväxt på olika sorters ytor och hur olika faktorer påverkar adhesionen. Fokus ligger på adhesionen av *Escherichia coli* (*E. coli*) och *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) och hur den kan tänkas bero av ytråheten och ytkemin hos substratet. Dessa två bakterier har valts för att ge exempel på olika bakteriers adhesion till ytor. *S. aureus* har också använts i den experimentella delen och därför behandlas bakterien specifikt i kapitel 3.

I den experimentella delen av avhandlingen användes blandningar av mjuka och hårda latexdispersioner för att erhålla polymerytor med olika ytråhet och ytkemi. Ytråheten karakteriserades med atomkraftsmikroskopi (AFM) och ytenergier erhöles från beräkningar utgående från kontaktvinkeldata. AFM är en metod som möjliggör mikroskopering av ytors struktur i den skala som kan tänkas påverka bakterieadhesionen. Mätning av kontaktvinklar möjliggör att ytors hydrofobicitet och -filicitet kan undersökas, och då kontaktvinklarna med flera olika vätskor mäts kan olika ytenergikomponenter för ytor beräknas med diverse modeller.

De undersökta polymerytorna i arbetet tillverkades genom att två olika sorters latexserier, en serie med kommersiell polystyren (PS) och akrylonitrilbutadienstyren (ABS) samt en annan serie med en styrenbaserad mjuk (CHP 5131.1) och hård komponent (CHP 5131.3) användes. Den kommersiella serien användes sedan för att undersöka adhesionen av *S. aureus*, med syftet att analysera sambandet mellan ytråhet, ytkemi och adhesion av bakterieceller.

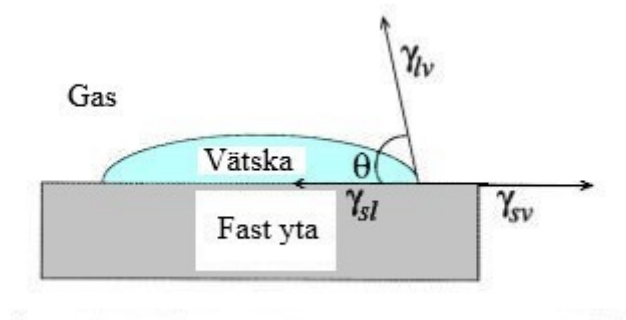
Båda latexserierna karakteriserades och jämfördes för att undersöka huruvida liknande ytegenskaper kunde uppnås med de olika latexdispersionerna. Latexdispersionerna kan bestrykas på papper, vilket ger möjligheten att exempelvis utföra bakterieexperiment på ett annat substrat än glas, som är det ofta använda materialet. Polymerytorna på papper ger ett gynnsamt underlag för bakterietillväxten.

2. Ytkemi

2.1. Vätning

Vätning är ett vanligt förekommande fenomen som uppkommer då det bildas en kontaktyta mellan ett fast material och ett material i vätskefas. Vätningen sker huvudsakligen i en gas (till exempel luft) men kan också ske i en annan vätska. Exempel på processer som inkluderar vätning är adhesionsfenomen, tvättning av ytor, användning av målarfärger, utveckling av biokompatibla ytor samt kontroll av mikroorganismers tillväxt på ytor [4, 5]. Tack vare den komplexa naturen och den stora mängden användningsområden hos vätning har fenomenet redan under en längre tid varit attraktivt för undersökningar och forskning [5]. En aspekt som ofta har undersökts är hur ytkemin hos material kan modifieras och kontrolleras, då ytkemin spelar en stor roll vid vätning. Ytkemin kan modifieras med olika metoder, såsom exempelvis bestrykning och plasmabehandling, och resultatet blir förändrade kemiska egenskaper hos ytan. Den förändrade ytkemin gör så att kontaktenergin mellan materialet och andra fasta material, vätskor eller gaser ändras, vilket i sin tur påverkar vätningens förmåga [6].

Vätningens fenomen kan beskrivas med kontaktvinkeln mellan den fasta ytan och vätskan. När vätskan ligger som en droppe på ytan, fås kontaktvinkeln från droppens profil som vinkeln mellan ytan och tangenten till vätska-gas-gränsytan. Tangenten skär trippelpunkten mellan gas, vätska och fast material (se Figur 1.) [7, 8].



Figur 1. En vätskedroppe på en fast yta samt kontaktvinkeln θ mellan droppen och ytan [7]. © 1999 Elsevier Science B.V. Använd och omarbetad med tillåtelse från upphovsrättsinnehavaren.

När en vätska kommer i kontakt med en fast yta finns det tre möjliga sätt för vätningen att ske, fullständig vätning, då vätskan sprider sig över hela ytan och bildar en film, icke-vätning, då vätskan håller sig som en nästan helt sfärisk droppe utan att alls veta ytan [9], samt partiell vätning, då vätskan bildar en tydlig droppe på ytan. Vätskan är i detta fall endast delvis i kontakt med ytan. Vid fullständig vätning är kontaktvinkeln 0° och vid icke-vätning 180° . Vid partiell vätning, som är det fenomen som oftast observeras, är kontaktvinkeln mellan 0° och 180° [10]. Ytor kan också delas in i hydrofila och hydrofoba enligt vilket värde kontaktvinkeln med vatten har. I fall kontaktvinkeln är större än 90° anses ytan vara hydrofob, medan den kan räknas som hydrofil då vinkeln är mindre än 90° [11].

En viktig aspekt vid vättningsfenomen är jämviktskontaktvinkeln. När en droppe läggs på en fast yta, kommer kontaktvinkeln variera ända tills den närmar sig jämviktskontaktvinkeln. När jämviktskontaktvinkeln har uppnåtts, kommer den att förbli i det närmaste konstant i fall ingen absorption av vätskan sker. Ur en termodynamisk synvinkel uppnås jämviktskontaktvinkeln då Gibbs fria energi för systemet uppnår sitt minimumvärde (se ekvation (2)) [5].

Fasta ytor har en specifik fri energi, som motsvarar den ytspänning som vätskor har. Definitionen på den fria ytenergin är förändringen i den totala fria energin för materialet per yta vid konstant temperatur, tryck och molmängd [8]. Ytspänningen för vätskor eller fasta material ger en bild av kohesionen hos materialet. Eftersom denna ytspänning definieras som energi per areaenhet, kan den också ges som kraft per längdenhet. Denna kraft verkar parallellt med kontaktlinjen mellan exempelvis en fast yta och en vätskedroppe för att minimera ytenergin i systemet [9].

Då en droppe befinner sig på ett fast substrat, består systemet av tre faser (fast, vätska och gas) och det finns således också tre ytspänningar att ta i beaktande, den i gränsytan fast-vätska, vätska-gas samt fast-gas. Dessa ytspänningar ses i Figur 1. Sambandet mellan de tre ytspänningarna och kontaktvinkeln mellan droppen och substratet ges av Youngs ekvation:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta_Y \quad (1)$$

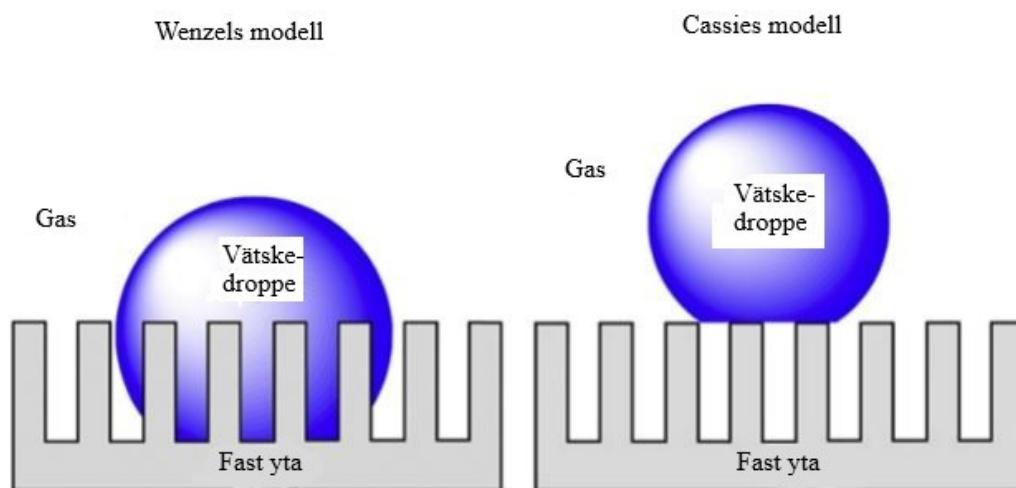
där γ_{sv} är ytspänningen mellan fast- och gasfas (ytans fria energi), γ_{sl} ytspänningen mellan fast- och vätskefas, γ_{lv} ytspänningen mellan vätske- och gasfas (vätskans ytspänning) och θ_Y är kontaktvinkeln. θ_Y kallas för Youngs kontaktvinkel [6, 9]. Vid fullständig vätning är $\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv}$ [6].

Gibbs fria energi för ett vätningssystem observerad som ett tredimensionellt system beräknas med hjälp av ytspänningarna ovan enligt följande:

$$G = \gamma_{sl}A_{sl} + \gamma_{lv}A_{lv} + \gamma_{sv}A_{sv} \quad (2)$$

där A_{sl} är arean för gränsytan fast-vätska, A_{lv} arean för gränsytan vätska-gas och A_{sv} arean för gränsytan fast-gas. Ett vätningssystem strävar alltid efter att hitta kontaktvinkeln som minimerar Gibbs energi för hela systemet [12].

Olika modeller för hur en vätska väter en yta har under tidens gång utvecklats. Wenzel-modellen gör antagandet att vätskan tränger in i dalarna i ytans struktur. Cassie-modellen å sin sida antar att vätskan inte tränger in i strukturen, utan det blir i stället luft i ytans gropar, och vätskedroppen lägger sig helt ovanpå ytan. Skillnaderna mellan Wenzel- och Cassie-modellerna ses i Figur 2 [13].



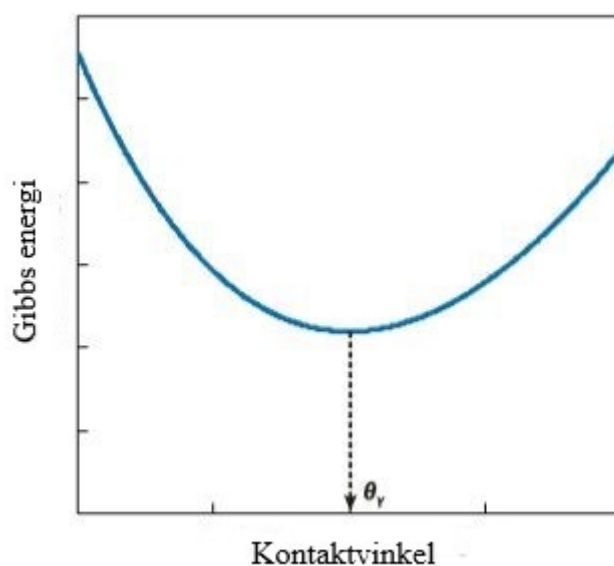
Figur 2. Wenzel- och Cassie-modellen för vätning [13]. © 2017 Elsevier Science B.V. Använd och omarbetad med tillåtelse från upphovsrättsinnehavaren.

2.2. Vätning av ideala ytor

Ideala ytor är yttopografiskt platta och kemiskt homogena [9]. De är också inerta och olösliga. Kontaktvinkeln för en ideal yta kallas för ideal kontaktvinkel. Den ideala kontaktvinkeln är viktig för beräkningar av ytors fria energi, även om det i praktiken finns väldigt få ideala ytor [5].

Youngs ekvation utvecklades för system med ideala ytor, vilket betyder att den ideala kontaktvinkeln för en yta kan antas vara den samma som Youngs kontaktvinkel. I princip borde Youngs ekvation ändå modifieras, även för ideala ytor, eftersom de tre ytspänningarna i systemet kan påverka varandra och därför också kontaktvinkeln. Varje fas kan påverka de två andra i närheten av deras kontaktlinje, vilket påverkar ytspänningen mellan faserna. Det mest framträdande fallet är effekten som det fasta materialet tack vare sin höga densitet har på vätskan. Det har ändå visat sig att faserna påverkar varandra och ytspänningarna tillräckligt mycket för att detta måste tas i beaktande endast i sådana fall då droppen är väldigt liten. Därför kan det i praktiska tillämpningar med makroskopiska system antas att Youngs kontaktvinkel motsvarar den ideala kontaktvinkeln och att Youngs ekvation således gäller [4, 5].

θ_Y är för ideala ytor också den kontaktvinkel som minimerar Gibbs energi för systemet. Om Gibbs energi ritas upp som funktion av kontaktvinkeln, kommer grafen att ha ett minimum, som representerar Youngs kontaktvinkel. För ideala ytor har grafen alltid endast ett minimum, vilket kan ses i Figur 3 [5].

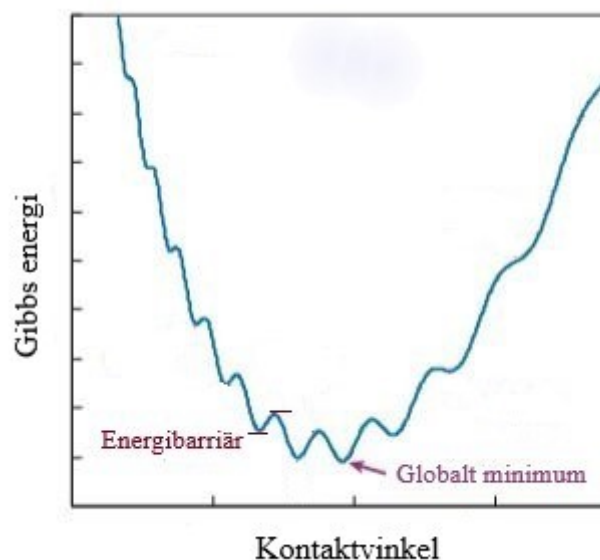


Figur 3. Gibbs fria energi som funktion av kontaktvinkeln för en ideal yta [5]. © 2009 Annual Reviews. Använd och omarbetad med tillåtelse från upphovsrättsinnehavaren.

2.3. Vätning av verkliga ytor

De flesta ytor är inte helt platta, utan de är ojämna och skrovliga samt kemiskt heterogena [9]. I princip gäller Youngs kontaktvinkel endast för ideala ytor, men det finns sätt som möjliggör att samband mellan Youngs kontaktvinkel och den uppmätta, verkliga kontaktvinkeln kan härledas. För att beräkning av ytspänningen för ett fast material ska vara möjlig, måste Youngs kontaktvinkel för materialet vara känd [4]. Den enda kontaktvinkeln som är mätbar i makroskopiska system är den verkliga kontaktvinkeln, där ytans heterogeniteter påverkar värdet av kontaktvinkeln. Det är viktigt att det finns förståelse för de olika kontaktvinklarna och hur de korrelerar till varandra, så att det i praktiken finns kunskap om tillvägagångssättet att beräkna ytenergier från experimentellt erhållna data [5]. Den verkliga kontaktvinkeln är vinkeln mellan tangenten till gränsytan mellan vätska och gas samt ytan av det fasta materialet, observerad ur en makroskopisk synvinkel [4].

För verkliga ytor finns det flera minima för Gibbs fria energi som funktion av kontaktvinkeln. Grafen i Figur 4 har flera lokala minima, som alla representerar ett metastabilt jämviktstillstånd. Det lägsta, globala, minimet är det mest stabila tillståndet. För enkelhetens och tydlighetens skull representerar grafen i Figur 4 ett tvådimensionellt system [5].



Figur 4. Gibbs fria energi som funktion av kontaktvinkeln för en verklig yta. Det globala minimat är Youngs kontaktvinkel [5]. © 2009 Annual Reviews. Använd och omarbetad med tillåtelse från upphovsrättsinnehavaren.

En aspekt som måste tas i beaktande vid kontaktvinkelmätning är frågan om hur stor ytråheten ska vara för att påverka vätningen. Det bästa sättet att mäta kontaktvinklar är att försöka göra ytan så platt som möjligt, så att Youngs kontaktvinkel är en optimal approximation av den verkliga kontaktvinkeln. Det är också viktigt att ytan är inert, så att icke önskvärda interaktioner mellan provet och mätvätskan kan minimeras [7].

Ytråhetens inverkan på den verkliga kontaktvinkeln är märkbar. Det går som sagt inte att direkt mäta den ideala kontaktvinkeln, men den kan beräknas genom Wenzels ekvation:

$$\cos\theta = r\cos\theta_Y \quad (3)$$

där θ är den verkliga, mätbara kontaktvinkeln, θ_Y Youngs kontaktvinkel och r är en ytråhetsfaktor. Ytråhetsfaktorn r definieras som förhållandet mellan den verkliga och den skenbara arean för ytan [9]. För en helt platt yta är $r = 1$, och för en ojämn yta är $r > 1$ [4]. Faktorn r kan beräknas utgående från ytråhetsparametern S_{dr} enligt följande ekvation:

$$r = 1 + \frac{S_{dr}}{100} \quad (4)$$

Ytors topografi kan beskrivas med ett antal ytråhetsparametrar. Ytråhetsparametrarna beskriver ytans topografi på olika sätt. S_{dr} , som används i ekvation (4), definieras som förhållandet mellan den tredimensionella arean och den tvådimensionella, projicerade arean (arean av det undersökta området). S_{dr} beskriver hur många procent större den verkliga ytan är jämfört med den projicerade ytan. För en yta som är helt platt är $S_{dr} = 0$ [2]. I ekvation (3) och (4) antas att droppens dimensioner är mycket större än skalan för yttopografien. Det antas också att de topografiska strukturernas geometri är ovidkommande och inte behöver beaktas så länge de inte har en inverkan på ytarean och S_{dr} [13]. Wenzel-ekvationen är i princip en approximation, vars godtagbarhet förbättras när droppens storlek ökar i förhållande till den yttopografiska skalan [4].

Enligt Wenzels ekvation (ekvation (3)) ökar vätningsförmågan hos ett hydrofilt material med ökande ytråhet. Då faktorn r är större än 1, kan en ökande ytråhet göra så att en hydrofil yta blir ännu mera hydrofil. En hydrofob yta kan å sin sida bli ännu mer hydrofob. Hur ytråheten påverkar vätning av ytor har praktiska tillämpningar inom exempelvis tillämpningar med ytor som renar sig själva. En superhydrofob yta har en väldigt hög vattenkontaktvinkel, vilket leder till att ytan repellerar vatten och vattnet bildar nästan helt sfäriska droppar på ytan. När vattendropparna rör sig på ytan drar de smuts med sig och ytan tvättas [9].

För karakterisering av en yta kan exempelvis atomkraftsmikroskopet (AFM) användas. AFM är ett effektivt redskap för att få information om ytans topografi, men kan också användas för exempelvis kraftmätningar [14]. AFM hör till gruppen svepspetsmikroskop och fungerar genom att en mätspets, som består av en nål fastsatt i en kantilever (nålhallare) och en kantileverhallare, rör sig över provytan. En piezoelektrisk enhet flyttar på provet. När provet och nålen närmar sig varandra, gör interaktioner mellan dem så att kantilevern böjer sig. En laserstråle riktad mot kantileverns baksida reflekteras mot en fotodiod. Kantileverns böjning påverkar stället där laserstrålen når fotodioden. En återkopplingsslinga mellan den piezoelektriska enheten och lasersystemet åstadkommer den tredimensionella yttopografiska bilden utgående från kantileverns böjning [2]. Ur den yttopografiska bilden kan sedan ett antal ytråhetsparametrar, däribland S_{dr} , räknas ut med hjälp av bildanalysprogram.

2.4. Metoder för mätning av kontaktvinklar

När vätningsfenomen och kontaktvinklar undersöks, uppstår ofta problem med valet av vilken metod som bäst lämpar sig för mätningen [15]. Undersökning av kontaktvinklar och vätning är vanliga metoder för ytkarakterisering [16], även om det har diskuterats vilka metoder som är bäst lämpade för exempelvis kontaktvinkelmätningarna. Problem har också uppstått i det fall att provet som ska mätas är väldigt poröst eller är i pulverform [17]. Mätning och tolkning av kontaktvinklar verkar ofta vara enklare och mera trivial än det i verkligheten är, eftersom det krävs en god kunskap om de grundläggande teorierna för att tolkningen ska vara korrekt [5].

När kontaktvinklar mäts är det viktigt att vätskedroppen är tillräckligt mycket större än skalan för exempelvis ytråheten. Storleken på droppen är viktig för att approximationer och beräkningar ska vara korrekta. I vissa fall kan också droppens storlek påverka värdet av kontaktvinkeln [5].

Ett av de vanligaste sätten att bestämma kontaktvinkeln är att ta en bild av profilen på en droppe och bestämma kontaktvinkeln utgående från bilden. Denna metod kallas goniometri. För att få en noggrannare bild kan också en bild uppfifrån av droppen tas. Bilden uppfifrån visar tydligare ifall droppen är symmetrisk, vilket är eftersträfvansvärt. Ifall den exakta droppvolymen är känd, kan kontaktvinkeln direkt räknas från bilden tagen uppfifrån av droppen [4, 5].

En variant av goniometri fungerar genom att en stationär droppe läggs på en horisontell yta, medan en kamera tar bilder av droppens profil. För att få en så skarp bild som möjligt, finns det en ljuskälla bakom provet. På bilderna ses droppen sedan som mörk mot en ljus bakgrund. Datorprogram spårar konturerna av droppen, varefter kontaktvinkeln mellan droppens kontur och ytan bestäms [13, 15].

Vid sidan om metoden med stationära droppar på horisontella ytor finns en metod där droppen läggs på ytan som sedan får en lutning, ända tills droppen inte längre hålls kvar utan börjar röra sig fritt [16]. Substratet som ska mätas kan också hållas nedsänkt i provvätskan, varefter en luftbubbla sprutas in i vätskan så att den lägger sig under substratet. Kontaktvinkeln mellan luftbubblan och substratet mäts därefter [13].

Wilhelmy-balans tensiometri är en metod där mätobjektet, ofta i form av en cylinder eller platta, sänks ner eller dras upp ur en vätska. Metoden mäter vätningskrafter längs med kontaktlinjen mellan vätskan och objektet [15]. För att bestämma kontaktvinkeln måste vätskans ytspänning vara känd. Ifall vätskans ytspänning är känd, kan kontaktvinkeln också bestämmas genom att kapillärstigningen längs en platta mäts. För att erhålla kontaktvinkeln kan Laplaces ekvation användas:

$$\sin\theta = 1 - \frac{\Delta\rho gh^2}{2\gamma_{lv}} \quad (5)$$

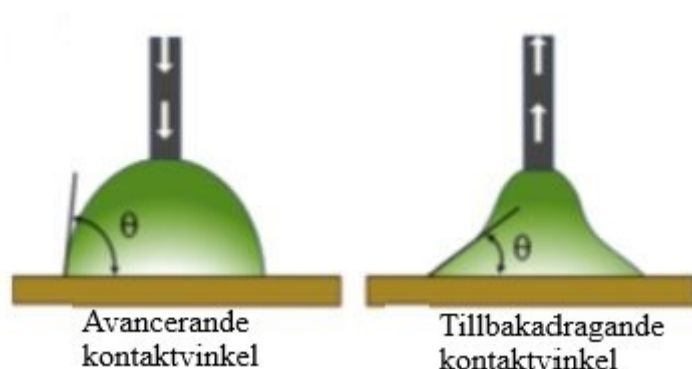
där h är kapillärstigningen, $\Delta\rho$ densitetsskillnaden mellan vätska och gas, γ_{lv} vätskans ytspänning och g gravitationskonstanten. Metoder med kapillärstigning mellan två plattor eller längs ett kapillärrör är vidareutvecklingar av Wilhelmymetoden [13].

Två fenomen som i vissa fall är viktiga att ta i beaktande vid vätning är den avancerande och tillbakadragande kontaktvinkeln. När en droppe befinner sig på en yta, verkar kontaktlinjen mellan ytan och droppen fästa sig på ytan och befinner sig i ett stationärt läge även om droppens volym ökas. Kontaktvinkeln ökar dock, ända tills den uppnår sitt högsta värde just innan kontaktlinjen inte längre är fäst på samma plats på ytan utan hoppar till en annan. Det högsta värdet för kontaktvinkeln kallas för den avancerande kontaktvinkeln, θ_a . På samma sätt är kontaktlinjen stationär när droppvolymen minskas, ända tills kontaktvinkeln får sitt lägsta värde innan den ändrar plats. Denna kontaktvinkel kallas för den tillbakadragande kontaktvinkeln, θ_r . I teorin är den avancerade och tillbakadragande kontaktvinkeln den högsta respektive minsta kontaktvinkeln för vilken det finns ett lokalt minimum i Gibbs energikurva (Figur 4) [5].

Differensen mellan θ_a och θ_r kallas för kontaktvinkelhysteres:

$$\Delta\theta = \theta_a - \theta_r \quad (6)$$

Kontaktvinkelhysteresen kan variera mycket på en ojämn yta. Värdet på hysteresen kan variera från nästan noll till storleksordningen av θ_a . Kontaktvinkelhysteres kan både vara en fördel och nackdel i olika tillämpningar, och på grund av detta är det viktigt att förstå bakgrunden till fenomenet [9]. Kontaktvinkelhysteres sker inte alls på ideala ytor [7]. En schematisk bild av θ_a och θ_r kan ses i Figur 5.



Figur 5. Avancerande och tillbakadragande kontaktvinkeln [13]. © 2017 Elsevier Science B.V. Använd och omarbetad med tillåtelse från upphovsrättsinnehavaren.

Det är viktigt att skillnader mellan de olika metoderna för kontaktvinkelmätning förstås och tas i beaktande. Skillnader kan exempelvis uppstå på grund av att kontaktlinjen mellan vätskan, gasen, och det fasta materialet är i rörelse i Wilhelmmetoden, medan den är stationär i de goniometriska metoderna. De olika mätuppställningarna kan också ge upphov till skillnader mellan resultaten, eftersom kontaktvinklarna bestäms på olika sätt. I goniometri observeras kontaktvinklarna direkt, medan de beräknas från kraftmätningar i Wilhelmmetoden. Vissa metoder är också svårare att utföra på ett reproducerbart sätt, och resultat som fås med en viss metod stämmer inte nödvändigtvis helt överens med resultat från någon annan metod [16].

2.5. Beräkning av ytenergier

För att det ska vara möjligt att undersöka vätningsförmågan hos ett material måste information om materialets ytspänning vara tillgänglig. När det gäller fasta material är ytspänningen den

samma som ytenergin hos materialet. Ytspänningen för ett fast material kan inte mätas med direkta metoder, vilket är möjligt för vätskor, eftersom en fast yta inte är deformierbar på samma sätt som en vätskeyta. Det går dock att beräkna ytenergin för en fast yta via exempelvis kontaktvinkelmätningar [5].

En vanlig metod för att bestämma ytenergin för en yta är att mäta kontaktvinkeln mellan ytan och ett antal vätskor med kända ytspänningskomponenter. En ytas fria energi spelar en stor roll i fenomen som adsorption, vätning och adhesion. Även om beräkning av ytenergier utgående från kontaktvinkelmätningar är ett vanligt använt sätt att bestämma ytenergin, har de olika metoderna för beräkningarna ändå fått utstå viss kritik [8].

Grunden till beräkning av ytors fria energi är Youngs ekvation. Endast γ_{lv} och θ_Y är dock möjliga att bestämma experimentellt. För att γ_{sv} för ytan ska vara uträkningsbar krävs att flera sätt hur de olika variablerna förhåller sig till varandra är kända [7].

2.6. Owens-Wendt-Rabel-Kaelble-metoden

Fowkes antog att den totala ytspänningen för material är summan av olika ytspänningskomponenter, som alla härstammar från olika mellanmolekylära krafter [7].

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sv}^d + \gamma_{sv}^p + \gamma_{sv}^h + \gamma_{sv}^i + \gamma_{sv}^{ab} + \gamma_{sv}^o \quad (7)$$

I ekvation (7) är γ_{sv} den totala ytspänningen, γ_{sv}^d den dispersiva ytspänningskomponenten, γ_{sv}^p , γ_{sv}^h , γ_{sv}^i , γ_{sv}^{ab} och γ_{sv}^o ytspänningskomponenter som härstammar från polära, vätebindnings-, induktions-, syra-bas respektive alla resterande interaktioner [18]. Fowkes undersökte huvudsakligen system med två faser, i vilka en av komponenterna endast hade dispersionsinteraktioner. I dylika system kan den fasta ytans fria energi beräknas enligt följande:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} - \gamma_{lv} + 2\sqrt{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d} \quad (8)$$

där γ_{sv} är ytans fria energi, γ_{sl} ytspänningen mellan ytan och vätskan och γ_{lv}^d den dispersiva ytspänningskomponenten för vätskan.

Owens och Wendt utvecklade Fowkes idé och antog att alla icke-dispersiva interaktioner i ekvation (7) kan anses som polära, vilket resulterade i följande ekvation:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} - \gamma_{lv} + 2\sqrt{(\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d)} + 2\sqrt{(\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p)} \quad (9)$$

Eftersom definitionen av polära interaktioner inte är den samma i Fowkes och Owens-Wendts teori, har γ_{sv}^p olika betydelser i ekvation (7) och (9). Ifall Youngs ekvation (ekvation (1)) kombineras med ekvation (9), fås följande samband:

$$\sqrt{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d} + \sqrt{\gamma_{sv}^p \gamma_{lv}^p} = 0,5\gamma_{lv}(1 + \cos\theta_Y) \quad (10)$$

där γ_{lv} är den totala ytspänningen för vätskan [18]. Ekvation (10) kallas för OWRK efter Owens, Wendt, Rabel och Kaelbe.

Eftersom ekvation (10) består av två okända variabler, γ_{sv}^d och γ_{sv}^p , krävs det att två vätskor med kända ytspänningskomponenter används. Genom att mäta kontaktvinkeln och lösa ekvationen för två olika vätskor, varav den ena är dispersiv och den andra är polär, fås ytans fria energi. Metylenjodid är en ofta använd dispersiv vätska ($\gamma_{lv}^{tot} = 50,8 \text{ mJ/m}^2$, $\gamma_{lv}^p = 0$, enligt van Oss, Chaudhury och Good [8]), medan den polära vätskan exempelvis kan vara vatten ($\gamma_{lv}^{tot} = 72,8 \text{ mJ/m}^2$, $\gamma_{lv}^d = 21,8 \text{ mJ/m}^2$, $\gamma_{lv}^p = 51,0 \text{ mJ/m}^2$, enligt van Oss, Chaudhury och Good [8]) [7].

2.7. van Oss-Chaudhury-Good-metoden (syra-bas-metoden)

I van Oss-Chaudhury-Good-metoden, även kallad syra-bas-metoden, delas den polära komponenten ytterligare in i en syra- och en baskomponent [8]. Det antogs att den fria ytenergin kan delas upp i två komponenter, en Lifshitz-van der Waals- (dispersiv) komponent, γ^d , och en syra-bas-komponent, γ^{ab} . Det antas att $\gamma^{ab} = 2\sqrt{\gamma^+ \gamma^-}$, där γ^+ och γ^- är syra- respektive baskomponenten. Som en följd av teorin har följande samband utvecklats:

$$\sqrt{\gamma_{sv}^d \gamma_{lv}^d} + \sqrt{\gamma_{sv}^+ \gamma_{lv}^-} + \sqrt{\gamma_{sv}^- \gamma_{lv}^+} = 0,5\gamma_{lv}(1 + \cos\theta_Y) \quad (11)$$

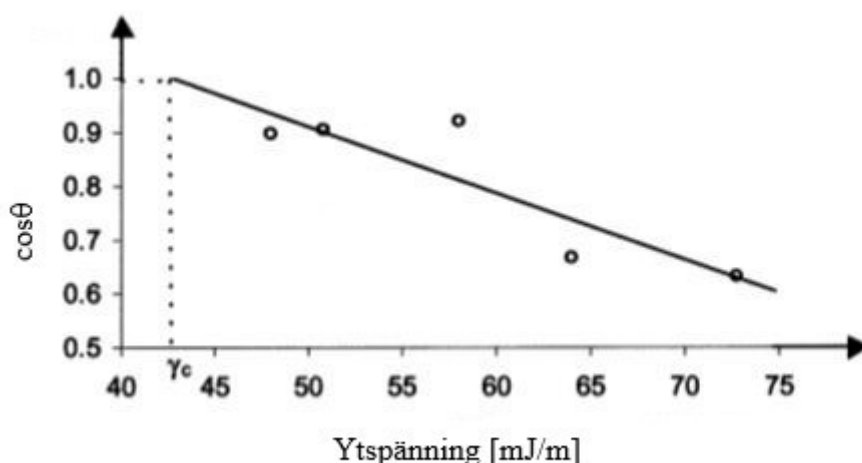
Eftersom ekvation (11) innehåller tre okända variabler, måste tre olika vätskors kontaktvinkel med ytan undersökas [18].

2.8. Zisman-metoden

I Zisman-metoden mäts kontaktvinkeln mellan en yta och flera olika vätskor. $\cos\theta_Y$ ritas i en graf mot γ_{lv} för de olika vätskorna enligt följande:

$$\cos\theta_Y = 1 - b(\gamma_{lv} - \gamma_{sv}) \quad (12)$$

där b är lutningen för regressionslinjen. Med Zismans metod fås den kritiska ytenergin för ytan, vilket definieras som ytspänningen för en referensvätska som väter en yta fullständigt ($\gamma_{lv} = \gamma_c$). Ifall punkterna i grafen ritad enligt ekvation (12) bildar en rak linje, fås γ_c genom extrapolering till $\cos\theta_Y = 1$ ($\theta_Y = 0$) [8], på grund av att det antas att då ytans fria energi och vätskans ytspänning är lika, är kontaktvinkeln mellan dem 0. Ytterligare reduceras ytenergin mellan fasta ytan och vätskan till 0 ($\gamma_{sl} = 0$) [19].



Figur 6. Exempel på en Zisman-plottning [8]. $\cos\theta$ visas som funktion av vätskans ytspänning. © 2001 Elsevier Science B.V. Använd och omarbetad med tillåtelse från upphovsrättsinnehavaren.

2.9. Tillståndsekvation-metoden

Ytenergin för en yta kan också räknas ut med hjälp av en metod som grundar sig på en tillståndsekvation. I denna metod behövs endast kontaktvinkeldata från en vätska med känd ytspänning. Den dispersiva eller polära komponenten för ytenergin kan dock inte bestämmas

[8]. Det finns ett antal formler för beräkning av ytenergi som baserar sig på tillståndsekvationer [8, 18], men en av de mest kända utvecklades av Neumann:

$$\cos\theta_Y = 2 \sqrt{\frac{\gamma_{sv}}{\gamma_{lv}}} e^{-\beta(\gamma_{lv}-\gamma_{sv})^2} - 1 \quad (13)$$

Parametern β i ekvation (13) har i beräkningar haft ett medelvärde på $0,0001247 \text{ m}^4/\text{mJ}^{-2}$, vilket har resulterat i att $\beta = 0,0001247 \text{ m}^4/\text{mJ}^{-2}$ har ansetts vara en konstant. Undersökningar tyder dock på att β egentligen inte är en konstant, utan en parameter som kan variera. β är egentligen ett medelvärde av flera olika mätresultat, och parametern kan ha väldigt olika värden för olika par av ytor och vätskor [19].

3. Bakteriers adhesion och tillväxt på ytor

Bakterier samt andra mikroorganismer fäster sig ofta på olika ytor som en överlevnadsstrategi. Adhesionen till ytor kan ske i en mängd olika miljöer, såsom i andra organismer, vattendrag samt olika industriella system [20]. Adhesion av bakterieceller är det första steget i bildandet av biofilmer på ytorna, och olika kemiska och fysikaliska interaktioner styr och påverkar adhesionen [3]. Efter adhesionen till ytan fortsätter bakteriekolonierna att växa och bildar en biofilm som skydd mot yttre faktorer [21]. När den primära adhesionen av bakterier har skett på en viss yta, är den efterföljande bakterietillväxten och bildandet av en biofilm oftast oberoende av ytans egenskaper [20]. Företrädesvis sker bakterietillväxten på en yta, ifall en dylik finns tillgänglig, och inte exempelvis i den omgivande lösningen. Förflyttningen av bakterier från lösningen till ytan sker via olika attraktiva kemiska och fysikaliska krafter mellan bakteriecellen och substratet [14].

Det finns en mängd olika tillämpningar där kunskap om bildandet och tillväxten av biofilmer är viktiga. Inom exempelvis medicinen är bakteriers adhesion till olika ytor ett stort problem, då bakterierna kan förorsaka sjukdomar och infektioner. Å andra sidan finns det också exempel på tillämpningar där bakterieadhesion är en förutsättning för till exempel olika processer [22].

I litteraturen som behandlar bakteriecellers adhesion hittas en mängd motstridiga resultat. Detta betyder att modeller som är allmänt gällande för bakterieadhesion inte ännu har kunnat härledas. Det finns stora variationer mellan olika bakterietyper och också inom samma bakteriestam, till stor del på grund av att egenskaperna hos det yttre membranet varierar mellan bakterierna [23].

3.1. Ytråhetens påverkan på bakterieadhesion och -tillväxt

Både själva cellen och substratet påverkar adhesionen av olika celler till ytan. Exempelvis yttopografi, vätningsegenskaper och ytenergi är ytegenskaper som påverkar celladhesion. Beroende på celltypen, kan ytråheten av substratet både förbättra och försämra adhesionen. Det finns celler som hellre fäster sig på platta ytor, medan vissa typer av exempelvis bakterieceller fäster sig bättre på ytor med mer ojämna yttopografi. Till exempel epitelceller, som hittas exempelvis i huden och slemhinnor, har visat sig föredra att fästa sig på platta, mer jämna ytor [2]. De flesta bakterieceller å sin sida verkar föredra ytor med mer ytråhet och topografi, ifall

yråheten är i tillräckligt liten skala [14]. Vid adhesion väljer bakteriecellerna att fästa sig på ytor som hjälper till att skydda cellerna mot yttre faktorer. En yta med högre yråhet har högre toppar och dalar, som ger bakteriecellerna skydd mot exempelvis friktion och andra yttre krafter [24].

Många olika källor visar att bakterieceller tydligt föredrar en högre yråhet vid adhesion [2, 3, 14, 23, 24, 25]. Skalan för yråheten är dock en viktig faktor att ta i beaktande. Ifall skalan för yråheten är liten (i nanoskala), kan ett samband mellan ökande yråhet och ökande bakteriecellsadhesion ofta observeras. Yråhet i exempelvis större skala visar inte samma resultat. [3, 23]. En högre yråhet betyder en större ytarea, och tillsammans med toppar och dalar i ytstrukturen ger denna egenskap fler och bättre ställen för bakterierna att fästa sig på [14]. Då det gäller specifika yråhetsparametrar, har parametrar såsom S_q , S_{dr} och S_{cl} visat sig påverka adhesionen av bakterieceller. Exempelvis *S. aureus* har visat sig föredra ytor med högre S_q , S_{dr} samt lägre S_{cl} [2, 3]. Undersökningar som gjorts också med andra bakteriestammar tyder på att ett högre värde på parametern S_a gynnar bakterieadhesionen [1, 14, 23, 24, 25]. Problemet med undersökningar som försöker förklara sambandet mellan bakterieadhesion och yråhet är att resultaten ofta rapporteras med endast en eller ett fåtal olika yråhetsparametrar, vilket ger en väldigt begränsad bild av ytorna.

Experiment med glas och metalloxidytar visar också att yråheten spelar en roll vid adhesion mellan bakterieceller och substrat. Vid jämförelse av bakteriers adhesion var adhesionen till de substrat som var belagda med en metalloxidyta högre än för glasytan. Metalloxidytorna hade högre yråhet än rent glas [25]. Andra material som också har använts som substrat vid undersökning av bakterieadhesionen är exempelvis rostfritt stål och redan nämnda polymerytor. Då bakterieadhesionen till rostfritt stål undersöktes, visade resultaten att bakterieadhesionen var lägre på stålytorna som hade slipats och därför hade en låg yråhet. Stålytorna med högre yråhet hade en högre bakterieadhesion [14].

E. coli är en bakterie som har undersökts gällande adhesion till ytor. Bakterien är gramnegativ¹, med cellväggar bestående av lipider, proteiner och lipopolysackarider, vilka alla medverkar i

¹ Bakterier kan delas in i gramnegativa och grampositiva beroende på hur de syns i gramfärgningstest. Vid gramfärgning, som utvecklades av dansken H. C. Gram, färgas bakterier med ett färgreagens (t.ex. kristallviolet) och sköljs med en jodlösning innan de sköljs med alkohol. Alkoholsköljningen gör så att gramnegativa bakterier förlorar den blåvioletta färgen från kristallviolettlösningen. När bakterierna till sist färgas med en kontrastfärg, syns grampositiva bakterier som violetta och gramnegativa som rosa. Resultatet grundar sig på skillnader mellan bakterieceller och uppbyggnaden av deras cellvägg. För mera detaljer och exempel på testprocedur, se [26].

att ge en negativ laddning hos cellmembranen. De negativa delarna av cellmembranen bidrar till att membranen är i huvudsak basisk [21].

När adhesionen av *E. coli* på olika polymerytor har undersökts, har resultaten visat att substratets mikro- och nanotopografi påverkar celladhesionen. Bakterieccellerna fäster sig på ett sådant sätt, att kontaktytan mellan cell och substrat maximeras. Detta görs både genom att bakterierna anpassar sin riktning efter storleken och riktningen av ytans topografi, men också genom att adhesionen och tillväxt sker bättre på ställen med mer ytråhet [23]. Liknande arbeten visar också att bakterier aktivt väljer ut stället till vilket de fäster sig, ifall ytan har topografi med dimensioner i nanometerskala. I ett experiment hade ytorna speciella geometriska former och bakterieadhesionen var högst i hörn och konvexa områden, och lägst i platta eller konkava områden. Detta tyder på att bakterieadhesionen åtminstone till en viss grad kan påverkas genom att ändra på ytans geometriska former [1].

S. aureus är en vanligt förekommande bakterie som bildar starka och beständiga biofilmer. Bakterien förorsakar en mängd olika sjukdomar, och kan fästa sig och växa på många olika ytor. Cellväggen består av både positiva och negativa grupper, vilket gör cellväggen bipolär och främjar adhesion till en mängd olika ytor [2]. Till skillnad från *E. coli* är *S. aureus* grampositiv, vilket betyder att det finns olikheter mellan dessa bakterier. De olika bakteriernas adhesion till ytor kan påverkas av olika faktorer och olikheter mellan bakterier och även mellan celler av samma bakterietyp [3].

S. aureus-bakterien fäster sig också bättre på ytor med högre ytråhet [23]. Även i detta fall är skalan för ytråheten en viktig faktor. Ifall skalan för ytråheten är tillräckligt liten, kan en korrelation mellan högre ytråhet och högre bakterieadhesion observeras [3].

3.2 Ytkemins påverkan på bakterieadhesion och -tillväxt

De fysikaliska interaktionerna som möjliggör bakterieccellernas förflyttning mot och till sist adhesion till en yta delas upp i sådana som verkar över längre respektive kortare avstånd. En bakteriecell transporteras mot en yta via krafter som verkar över långa avstånd (> 50 nm). Dessa krafter är icke-specifika och beskrivs som en funktion av avstånd och fri energi. När bakteriecellen sedan närmar sig ytan (< 5 nm) blir de interaktioner som verkar över korta avstånd mer dominanta. Dessa interaktioner grundar sig på kemiska bindningar (exempelvis

vätebindningar), joniska och dipolinteraktioner samt hydrofila och hydrofoba interaktioner [14].

Den basiska karaktären av *E. coli*-bakteriens cellvägg påverkar adhesionen till olika ytor så att cellen främst fäster sig på sura delar av ytor. På en yta som domineras av dispersiva delar fäster sig *E. coli*-bakterien inte lika bra. Undersökningar som gjorts har visat att *E. coli*-bakteriens adhesion gynnas på ytor som huvudsakligen är sura, medan den är lägre för både basiska och dispersiva ytor [21].

S. aureus har visat sig fästa sig bättre på ytor som är hydrofoba. Ytans energi spelar en roll vid adhesionen. Ytor med hög ytenergi har visat sig stå emot bakterieadhesion, i alla fall om de samtidigt har låg ytråhet. Ytor med joniska grupper har Lewis syra-basegenskaper, och syra-basegenskaper kan korrelera med bakterieadhesion. Starkare syra-basegenskaper kan betyda en starkare monopolaritet, vilket i sin tur kan bidra till en starkare attraktion till bipolära material såsom *S. aureus* [3].

När det har undersökts hur ytenergi generellt sett korrelerar med bakterieadhesion, tyder de flesta resultat på att bakteriers adhesion gynnas av en hög ytenergi. Det finns dock motstridiga resultat, vilket tyder på att problemet är väldigt komplext och det går inte att se en hög bakterieadhesion som resultat av endast en faktor, utan det finns en mängd olika samverkande faktorer som påverkar adhesionen. Beroende på faktorer som fysikaliska och kemiska egenskaper av bakterien, substratet och omgivningen kan adhesionen endera öka eller minska. I de flesta fall ökar adhesionen med ökande ytenergi [27]. En yta som är polärt negativ repellerar ofta bakterier, medan en yta som är positivt laddad attraherar bakterier vilket ofta leder till en högre bakterieadhesion [25]. Det krävs ännu mer undersökningar och forskning för att bakterieadhesionen till olika ytor ska förstås i detalj. Det faktum att resultaten mellan olika undersökningar varierar så starkt har sin grund i det faktum att bakterieadhesionen påverkas av så många faktorer. Olika källor kan också rapportera resultat som härstammar från experiment med olika substrat, och undersökningarna är inte sinsemellan jämförbara, då man varierar så många faktorer redan genom att använda olika substrat. Experiment som gjorts med olika bakterier ger också generellt olika resultat [14].

De flesta resultat tyder på att en platt yta med låg ytenergi ger det bästa resultatet ifall en yta som hindrar bakterieadhesion är det som eftersträvas. Det finns en efterfrågan på bättre alternativ för material som kan hjälpa till att förhindra uppkomsten av biofilmer på ytor. Möjliga material för denna tillämpning är hydrofoba polymerytor med låg ytråhet, som har visat sig stå

emot bakterieadhesion. Exempel på polymerer som kunde användas för ytor som hindrar bakterieadhesionen är polymetylpropenoxyfluoroalkylsiloxan och polyperfluoroakrylat. Dessa polymerer kan beläggas på glas eller andra substrat. Polymererna bildar relativt släta filmer med låg ytenergi som potentiellt kunde användas för att förhindra adhesion av bakterier [20]. Å andra sidan kan också ytor som ger en så hög bakterieadhesion som möjligt utvecklas. Tillämpningar för denna typ av ytor är exempelvis plattformar för bakteriestudier, där polymerytor, exempelvis latexytor, kan användas för att modifiera ytråheten och ytkemin för ytan så att bakterieadhesionen ska gynnas. Detta kan uppnås genom att undersöka vilken polymerblandning som ger den bästa bakterieadhesionen [3].

4. Målsättningar

Genom att variera blandningsförhållandet mellan en mjuk och en hård komponent i latexblandningar kan ytstrukturen för polymerytor modifieras. Vid IR-behandling av ytorna smälter polymerpartiklarna samman, och den mjuka komponenten, med lägre T_g (glasövergångstemperatur), bildar en film, medan den hårda komponenten, med högre T_g , inte smälter samman lika mycket. Den hårda komponenten bevarar delvis sin partikelform.

Den första målsättningen med detta arbete var att tillverka olika ytor och komma fram till ytor som hade önskade egenskaper mot bakteriecellsadhesion. Polymerytor med olika andel hård och mjuk latexkomponent valdes som substrat, eftersom det är lätt att variera ytegenskaperna för ytorna genom att variera blandningsförhållandet. Syftet med denna del av arbetet var att undersöka vilken yta som gav bäst adhesion av bakterier.

Den andra målsättningen med arbetet var att utveckla karakteriseringen av de tillverkade polymerytorna för att identifiera sådana parametrar som korrelerar med adhesion av bakterier. Egenskaperna som låg i fokus var ytråhet och ytenergi. Syftet var i detta fall att undersöka hur enskilda ytråhetsparametrar och ytenergikomponenter korrelerade med bakterieadhesionen.

I arbetet karakteriserades serier med latexblandningar med olika blandningsförhållanden. Ytstrukturen och ytenergin för ytorna och hur de ändrade med ändrande blandningsförhållanden undersöktes. Ytornas lämplighet som substrat i bakterieexperiment undersöktes också. I den första serien användes kommersiell polystyren (PS) och akrylonitrilbutadienstyren (ABS). Problemet med kommersiella latexdispersioner är att det exakta innehållet inte är känt, vilket betyder att det kan finnas komponenter i latexerna som påverkar resultatet på ett sådant sätt, att exakta slutsatser inte kan dras utifrån resultatet. Den kommersiella serien har ändå i detta arbete använts för att undersöka bakterieadhesionen till ytorna.

En annan serie med latexdispersioner vars innehåll var känt gjordes också. Ytstrukturen och ytkemin för denna serie jämfördes sedan med den kommersiella serien, för att undersöka om de olika latexserierna gav liknande resultat. Det visade sig att latexdispersionerna hade en väldigt dålig adhesion till glas, och lossnade vid kontakt med vatten och etanol. Detta blir ett stort problem då exempelvis bakterieadhesion på ytorna ska undersökas, då det inte går att hålla latexytorna på glas i vätska en längre stund utan att ytorna lossnar. Det var således inte möjligt att undersöka bakterieadhesionen till denna serie på samma sätt som den kommersiella serien.

Papper är ett lovande substrat för cellstudier som görs på en polymerfilm. Papprets yta med fibrer kan också utgöra ett mer lämpligt underlag för latexfilmen. Vid bestrykning av papper har dispersionerna en bättre möjlighet att fixeras runt fibrerna och på så sätt ökar adhesionen till pappret.

En latexserie stavbestryktes på papper. Denna series ytstruktur och ytkemi jämfördes sedan med den motsvarande serien på glas, för att undersöka huruvida de stavbestrykta pappren hade samma struktur och ytenergi som serien på glas. Det latexbestrykta pappret kunde lämpa sig som en pappersbaserad plattform för bakteriecellsstudier.

Enligt tidigare resultat (se kapitel 3) torde bakterieadhesionen gynnas av en högre ytråhet och ytenergi. *S. aureus* borde dock enligt vissa källor föredra ytor med högre hydrofobicitet. I detta arbete undersöktes den kommersiella latexseriens bakterieadhesion med *S. aureus*, för att se ifall det fanns skillnader i bakterietillväxt mellan olika latexblandningar. Detta resultat användes sedan för att utreda ifall det i den andra latexserien fanns ytor med liknande egenskaper som kunde lämpa sig för pappersplattformen.

5. Experimentuppställning och material

5.1. Latexytor

5.1.1. Droppbeläggning av täckglas

I detta arbete användes två olika serier med latex. I den första serien användes kommersiella latexer, men eftersom det exakta innehållet och specifikationerna för dessa latexer var okänt, användes också latexer med känt innehåll.

De kommersiella latexerna var polystyren av typen HPY 83 (Styron, Tyskland) och akrylonitrilbutadienstyren av typen DL 1020 (Trinseo, Nederländerna). Andelen egentlig polymer i dispersionerna var 47,9 vikt-% (HPY 83) respektive 54,5 vikt-% (DL 1020), enligt tillverkarna.

De två andra latexdispersionerna som användes var CHP 5131.3 och CHP 5131.1 tillverkade av CH-Polymers (Finland). Enligt tillverkaren hade CHP 5131.3 och CHP 5131.1 en teoretisk T_g på 100 °C respektive 0 °C, partikelstorlek på 190 nm respektive 180 nm och andelen egentlig polymer 50 %. Innehållsförteckning över de båda dispersionerna kan ses i Bilaga 1.

Täckglas med en diameter på 13 mm sköljdes med milliQ-vatten innan de plasmabehandlades i ca 5 min. på högsta effekt. Plasmabehandlingen gjorde ytorna mer hydrofila, vilket gjorde dem lättare att ytbelägga med vattenbaserade dispersioner.

De plasmabehandlade täckglasen ytbelades med en droppe latexblandning. De blandningar hög- T_g :låg- T_g som användes av CHP 5131.3 och CHP 5131.1 var 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20 och 100:0. För de kommersiella latexerna användes blandningsförhållandena 0:100, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20, och 100:0. Ytorna tilläts torka i ca 1 h, innan de behandlades under en infraröd (IR) lamp i 31 s. Efter IR-behandlingen värmebehandlades proven ca 1 h i ugn på 100 - 105 °C.

5.1.2. Stavbestrykning på papper

Stavbestrykningen på papper gjordes med CH-Polymers latexdispersioner. Ett lager av den mjuka latexen (CHP 5131.1) stavbestryktes på papper. Ytorna tilläts torka i ca 1 h, innan ett lager latexblandning stavbestryktes ovanpå det första lagret latex. Följande blandningsförhållanden hög- T_g :låg- T_g latex användes: 0:100; 20:80; 40:60; 50:50; 60:40; 80:20; 100:0. Dispersionerna användes outspädda.

Efter att latexytorna fått torka i ca 2 dagar, behandlades de under en IR-lampa för att önskad ytstruktur skulle kunna erhållas. IR-behandlingen gjordes i tre omgångar, 5×1 s, 5 s och 23 s.

5.1.3. Flexografisk printning av PDMS

Ovanpå latexytorna på de stavbestrykta pappren printades ett lager PDMS, polydimetylsiloxan. Printningen gjordes så att det lämnades runda områden, brunnar, utan PDMS, där den latexbestrykta ytan var blottlagd. Tanken är att den hydrofoba PDMS-ytan styr bakterieadhesionen på ett sådant sätt att celltillväxten sker endast i dessa brunnar.

Den PDMS som användes i detta arbete tillverkades enligt ref. [28], och bestod av en 100:2,5:1 vikt-% blandning av Dehesive®920: crosslinker V24: catalyst OL (Wacker Chemie AG, Tyskland). 0,5 ml crosslinker V24 tillsattes långsamt under omrörning i 20 g Dehesive®920. Efter 5 min omrörning i rumstemperatur tillsattes 0,2 ml catalyst OL, igen långsamt under omrörning. Efter ytterligare 10 min omrörning tilläts blandningen stå över natten i kylskåp, innan den flexografiska printningen gjordes. Efter flexoprintningen fick pappren stå i ugn i ca 80 °C tills PDMS-ytan stelnat (ca 20 min.).

Den flexografiska printningen gjordes med instrumentet IGT Global Standard Tester 2 (IGT Testing Systems, Nederländerna). Pappersremсор ytbelagda med latex tejpades fast på en cylinder. PDMS lades bakom en skrapa, som låg mot en annan cylinder. PDMS printades på latexytan via en tredje cylinder, där en flexibel printplatta, som skapade mönstret med hål, var fastsatt. Figur 7 visar printuppställningen. Printningen gjordes med en hastighet på 0,5 m/s och en kraft på 100 N.



Figur 7. Instrumentuppställningen för den flexografiska printningen. Papperssubstraten lades runt en cylinder som sattes fast vid a), medan PDMS lades bakom skrapan, som positionerades mot cylindern vid b). Printningen gjordes så att PDMS överfördes till pappret via c), där en flexibel printplatta skapade hålmönstret.

5.2. Atomkraftsmikroskopi

Polymerytornas topografi undersöktes med atomkraftsmikroskopet Nanoscope V Multimode 8 (Bruker, USA). Storleken på de undersökta områdena var $5 \times 5 \mu\text{m}$ och varje bild hade en resolution på 512×512 pixlar. Mätningarna gjordes med instrumentets tapping mode (intermittent kontakt-läge). Mätningarna gjordes med en fri oscillationsamplitud på 500 mV och en frekvens på 2 Hz (1,99 - 2,03 Hz). Mikroskoperingsamplituden (amplitude setpoint) var 160 - 450 mV. AFM-instrumentet som användes i mätningarna ses i Figur 8. Mätningarna gjordes i rumstemperatur som varierade enligt vädret från 23 °C till 33 °C. Den relativa luftfuktigheten varierade från 35,5 % till 63,5 %.



Figur 8. Atomkraftmikroskopet som användes för att mäta ytstrukturen för polymerytor.

Mätspetsen som användes var av typen NSG01 tillverkad av NT-MDT (Ryssland). Mätspetsen hade enligt tillverkaren dimensionerna $3,4 \times 1,6 \times 0,3$ mm, med en reflekterande sida av guld. Nålens krökningsradie var 10 nm, resonansfrekvens 87 - 230 kHz och fjäderkonstant 1,45 - 15,1 N/m, enligt tillverkaren.

Bildanalyser av de mätta områdena gjordes med programmet Scanning Probe Image Processor, SPIP (Image Metrology, Danmark). Varje bild bearbetades med ett gaussiskt filter och en 0° LMS (Least Mean Square)-anpassning. Datorprogrammet räknade ut ett antal ytråhetsparametrar för varje bild.

5.2.1 Adhesionstest av latexytor

För att kontrollera hur bra adhesion latexytorna hade till pappret spändes stavbetrykt papper fast mellan två bitar plexiglas. I det översta plexiglaset fanns hål, som fungerade som brunnar, vilka fylldes med MilliQ vatten. O-ringar möjliggjorde att systemet var helt förslutet och vattnet i brunnarna hölls kvar. Den stavbetrykta ytan som var i kontakt med vatten observerades i ca 72 h, för att kontrollera ifall pappret ändrade färg, vilket indikerar att vattnet har penetrerat

igenom latexytan och vätt det underliggande pappret. Efter 72 h undersöktes ytan med AFM, för att kontrollera ifall latexytan var intakt.

5.3. Kontaktvinkelmätning

Olika metoder för mätning av kontaktvinklar och beräkning av ytenergier har beskrivits i kapitel 2. Kontaktvinkelmätningarna gjordes med instrumentet CAM 200 (KSV Instruments Ltd., Finland). Kontaktvinklarna mättes med tre olika vätskor, destillerat vatten (MilliQ), etylenglykol (EG) samt metylenjodid (DIM). Eftersom DIM är en fotosensitiv vätska och sönderfaller med tiden då den utsätts för ljus, kan resultatet påverkas av detta. Kontaktvinklarna för den kommersiella serien och CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper mättes därför två gånger, andra gången efter byte av DIM.

Dropstorleken var 2 μl för MilliQ samt EG och 1,4 μl för DIM. För varje droppe togs det 1 bild/s, totalt 15 bilder, och från varje yta mättes ca 10 droppar. En programvara bestämde kontaktvinklarna för dropparna utgående från dropparnas profil genom att använda en Young-Laplace-anpassning på dropparnas kontur.

Den totala ytenergin, γ^{tot} , den dispersiva komponenten, γ^d , samt den polära komponenten γ^p beräknades utgående från OWRK-metoden. Vidare beräknades syra- och baskomponenten (γ^+ och γ^-) utgående från vOCG-metoden. De olika ytenergikomponenterna för mätvätskorna antogs vara de värden som van Oss, Chaudhury och Good föreslagit (se Tabell 1).

Tabell 1. Ytenergikomponenter för de använda mätvätskorna, enligt van Oss, Chaudhury och Good [8]

Vätska	γ^{tot} (mJ/m ²)	γ^d (mJ/m ²)	γ^p (mJ/m ²)	γ^+ (mJ/m ²)	γ^- (mJ/m ²)
MilliQ	72,8	21,8	51,0	25,5	25,5
EG	48,0	29,0	19,0	1,92	47,0
DIM	50,8	50,8	0,0	0,0	0,0

5.4. Bakterieadhesion och tillväxt

För undersökning av bakterieadhesion och tillväxt på de olika latexytorna i den kommersiella serien användes två olika modeller, en statisk modell och en dynamisk modell med brunnsplattor. Testerna, som gjordes med *S. aureus*-bakterien, utfördes av Paola San Martin Galindo vid Helsingfors universitet.

Principen för den statiska modellen är att biofilmen bildas på undre sidan av ett substrat som ligger ovanpå en platta med bakteriemedium. De latextäckta glasen lades med polymerytan nedåt mot ett filterpapper som hade vätts med en lösning av bakterier och bakteriemedium. Filterpappren låg på en agarplatta. Proven inkuberades i 24 h i 37 °C, innan glasen, vars undersida var täckta med den bildade biofilmen, togs bort för undersökning av den bildade biofilmen.

I den dynamiska modellen bildas en biofilm på ovansidan av substratet då det ligger i bakterielösning med bakteriemedium och fria, planktoniska bakterier. Täckglasen med latexytorna lades i brunnsplattor, och bakteriemedium med bakterier tillades. Efter 24 h togs glasen bort för undersökning av den bildade biofilmen.

Bakterieadhesionen och tillväxten på latexytorna anges senare i denna text som CFU (colony forming units). Detta betyder att det inte var endast den primära bakterieadhesionen, utan hela processen med bakterieadhesion och tillväxt under en viss tid, som undersöktes. Bakterieadhesionen är som tidigare nämnts det första steget i bildandet av biofilmer på ytor, och CFU ger ett mått på hela processen med adhesion och tillväxt på en yta. CFU anger antalet kolonibildande enheter, det vill säga enskilda mikrober eller mikrobgrupper som har fäst sig på ytorna och bildat kolonier.

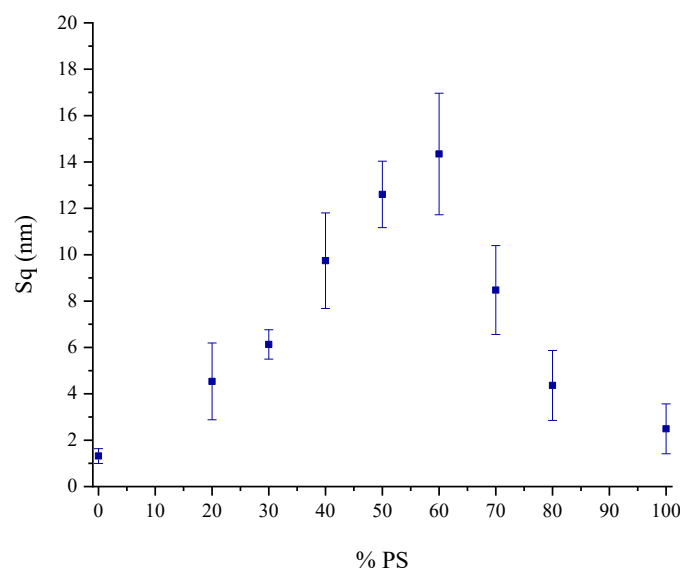
6. Resultat

6.1. Yttopografi

Ytråheten för olika substrat kan numeriskt beskrivas med så kallade ytråhetsparametrar. Kompletta listor med ytråhetsparametrarna som programmet SPIP har räknat ut för de olika latexserierna i detta arbete kan ses i Bilaga 2 (kommersiella latexserien), Bilaga 3 (CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas) samt Bilaga 4 (CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper). Definitioner på och beräkningar av de flesta parametrarna i tabellerna kan hittas i användningsmanualen för SPIP, tillgänglig på nätet, se ref. [29].

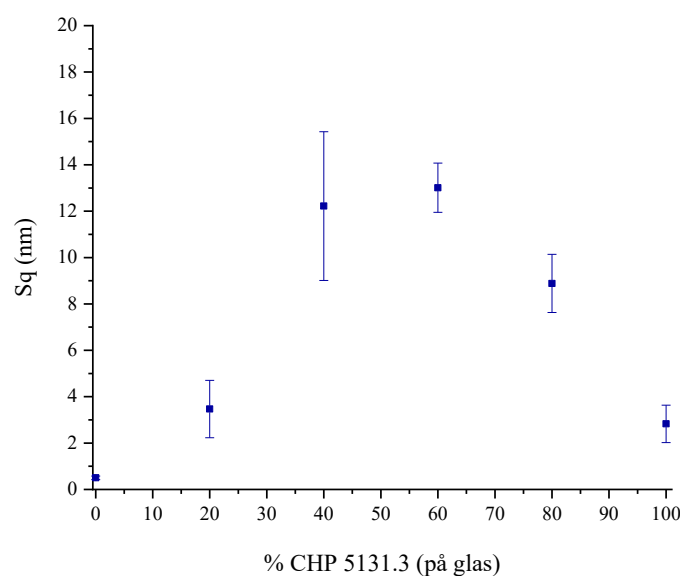
Ytråheten för proven i detta arbete karakteriserades med hjälp av parametrarna S_q , S_{dr} och S_{cl37} . En parameter som ofta anges vid ytråhetsmätningar är S_q , som ger standardavvikelsen för höjdvärdena. Parametern definieras som roten av summan av höjdskillnaderna från medelplanet [28]. S_{dr} , som beskrevs redan i kapitel 2.3, beskriver hur mycket större den tredimensionella arean av en yta är i förhållande till den tvådimensionella, projicerade arean. S_{cl37} är en parameter som beskriver korrelationslängden som erhålls från autokorrelationsfunktionen för ytor. S_{cl37} kan definieras som det horisontella avståndet av autokorrelationsfunktionen som har den snabbaste minskningen till 37 %, som motsvarar $1/e$ [29]. I karakteriseringen av polymerytorna i detta arbete har S_q/S_{cl37} använts. S_q/S_{cl37} anger normaliserade höjdvariationer jämfört med laterala variationer i ytans topografi.

S_q för den kommersiella latexserien kan ses i Figur 9. Figuren visar också standardavvikelserna för de olika datapunkterna. Parametern hade sitt lägsta värde för ABS-ytan, och ökade i det närmsta linjärt innan den fick sitt högsta värde vid 60 % PS, varefter den igen sjönk.



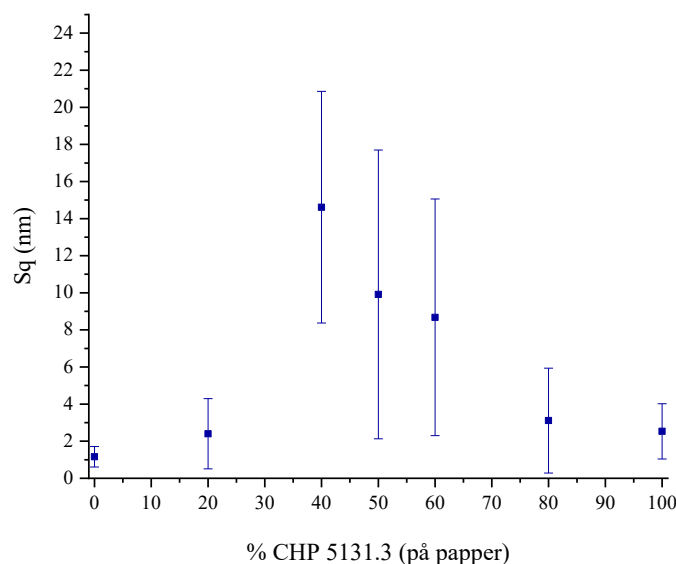
Figur 9. S_q som funktion av andelen PS i den kommersiella serien PS:ABS.

För CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien på glas följde S_q samma trend som för den kommersiella serien. Den mjuka komponenten, CHP 5131.1, gav en yta med den lägsta ytråheten, som sedan ökade tills det högsta värdet uppnåddes vid 60 % hård komponent. Efter detta sjönk ytråheten igen. Figur 10 visar S_q som funktion av andelen hård komponent för serien CHP 5131.3:CHP 5131.1. Felgränserna för resultaten visas också.



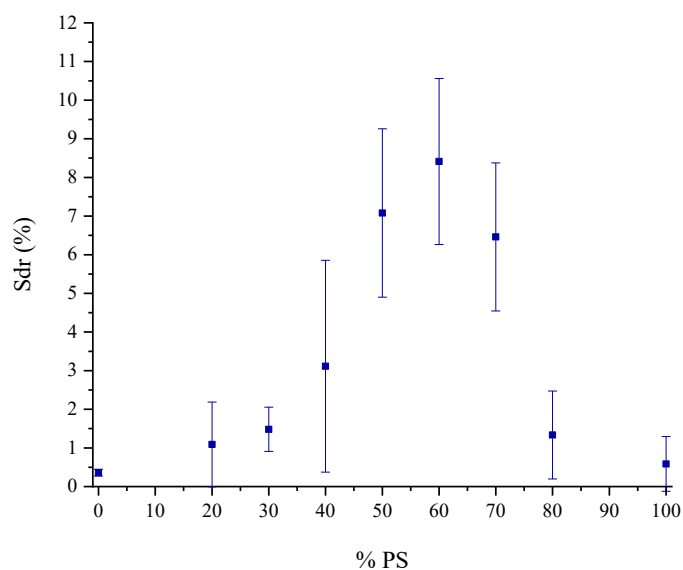
Figur 10. S_q som funktion av andelen hård komponent för serien CHP 5131.3:CHP 5131.1.

För CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper ökade S_q också med ökande andel hård komponent, men det högsta värdet uppnåddes redan med 40 % hård komponent. När andelen ökade från detta sjönk S_q . Det högsta värdet på S_q i serien hade i stort sett samma värde som de högsta värdena i de andra serierna. S_q för serien kan ses i Figur 11. Figuren visar också att felgränserna för de olika latexblandningarna var väldigt höga.

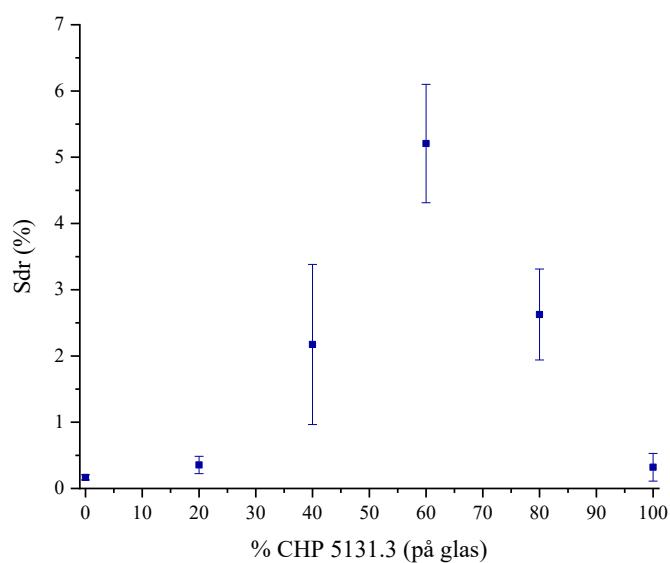


Figur 11. S_q som funktion av procentandelen hård komponent för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper.

S_{dr} visade samma trend som S_q för alla tre serier. Med ökande andel hård komponent ökade S_{dr} och fick sitt högsta värde vid 60 % hård komponent för den kommersiella serien och CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas, medan den fick sitt högsta värde vid 40 % hård komponent för serien på papper. Figur 12 visar S_{dr} och felgränserna för hela den kommersiella serien.

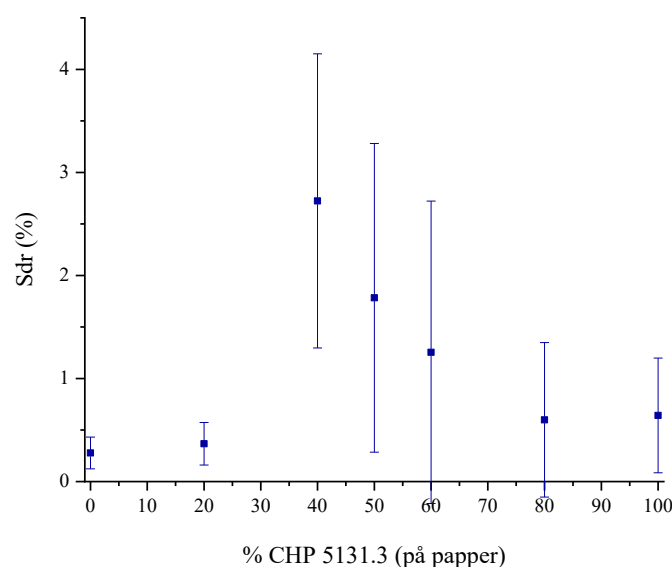


Figur 12. S_{dr} som funktion av procentandelen PS i den kommersiella serien PS:ABS.



Figur 13. S_{dr} som funktion av procentandelen CHP 5131.3 på glas.

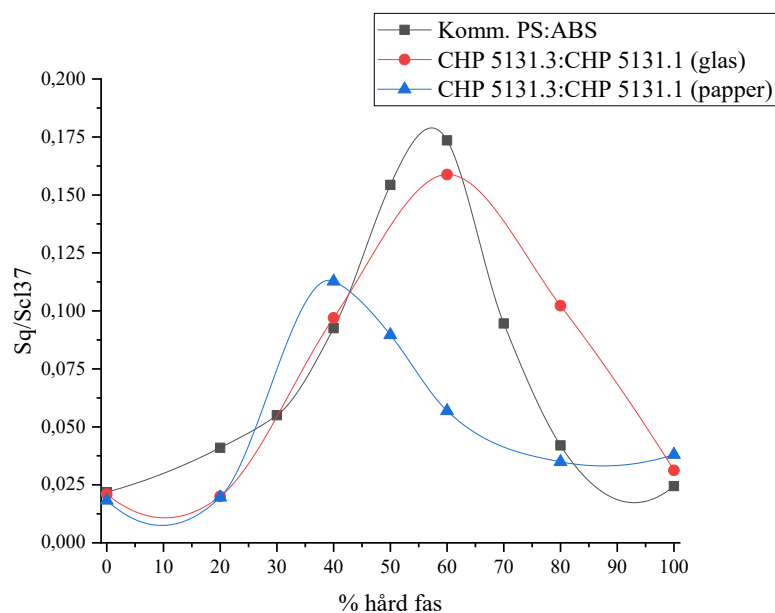
Figur 13 visar S_{dr} för CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien. Parametern följde samma trend som S_q . S_{dr} ökade med ökande andel hård latex och fick sitt högsta värde vid 60 % hård latex. De ytor som hade lägst S_{dr} uppvisade också de lägsta standardavvikelse. De andra ytorna uppvisade en mycket högre standardavvikelse.



Figur 14. S_{dr} som funktion av andelen CHP 5131.3 för serien på papper.

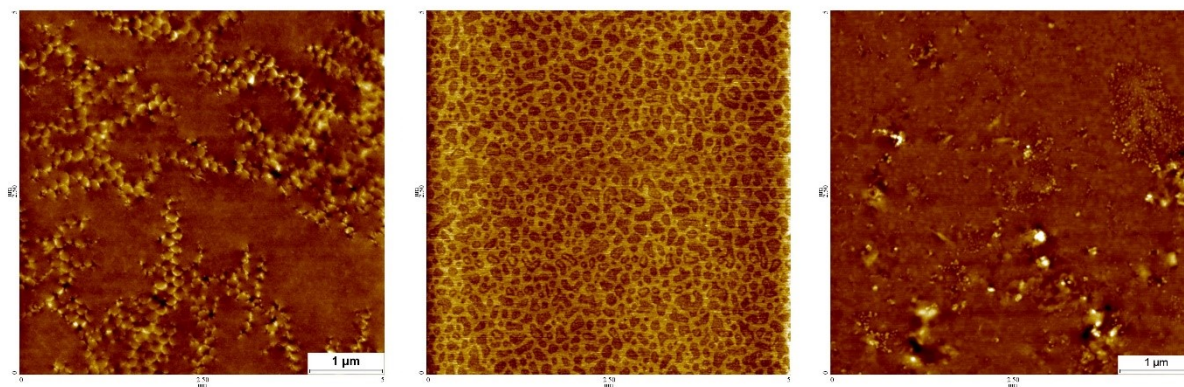
Figur 14 visar S_{dr} som funktion av andelen hård latexkomponent för serien på papper. Det högsta värdet på S_{dr} uppnåddes med 40 % hård komponent. Standardavvikelsen för de olika blandningarna var väldigt hög och de olika provens standardavvikelse överlappade varandra. Ytorna med 0 % och 20 % hård latex hade de lägsta standardavvikelserna.

När S_q delades med S_{cl37} och ritades som en funktion av andelen hård komponent för serierna, erhöles ett resultat som följde samma trend som S_q och S_{dr} för serierna. För serien på papper erhöles det högsta värdet för S_q/S_{cl37} för 40 % hård komponent, medan det högsta värdet uppnåddes med 60 % hård komponent för de andra serierna. Figur 15 visar S_q/S_{cl37} för alla tre serier. Bilaga 2, 3 och 4 visar att S_{cl37} som sådan inte hade en tydlig korrelation med andelen hård komponent, medan S_q/S_{cl37} hade det, vilket visas i Figur 15.



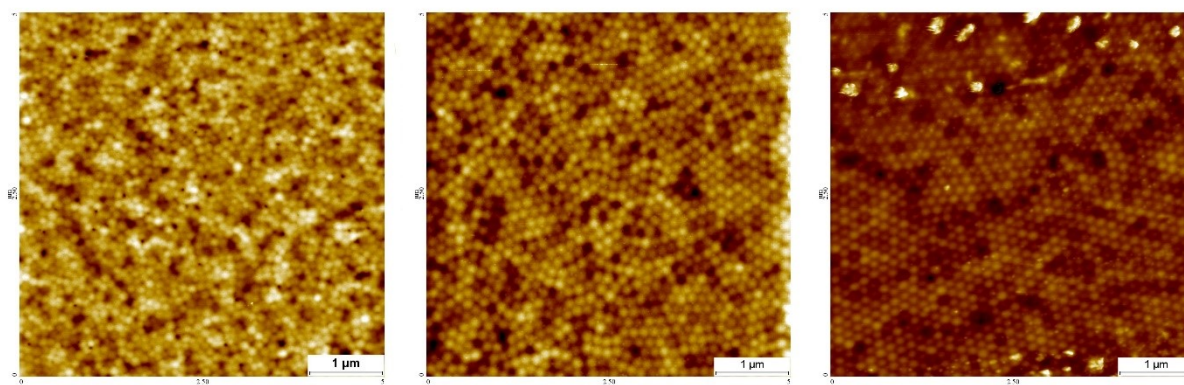
Figur 15. S_q/S_{cl37} som funktion av procentandelen hård komponent i alla tre latexserier. Punkterna är sammanbundna för tydlighetens skull.

För alla tre latexserier gav ytan med endast mjuk komponent den lägsta ytråheten. Bilder på dessa ytor kan ses i Figur 16. Den mjuka komponenten bildade i stort sett en film i alla tre latexserier, vilket kan ses som en väldigt jämn yta utan mycket struktur. De strukturer som ändå kan ses på ytorna kan härstamma från komponenter i latexerna som inte smälte ihop lika mycket utan istället samlades på vissa ställen och bildade strukturer. Strukturerna i bilden i mitten av Figur 16 kan härstamma vid sidan om komponenter i dispersionerna också från exempelvis fukt, ifall luftfuktigheten varit hög vid mätningen. Alla tre ytor var ändå i huvudsak relativt platta med strukturer med låg amplitud. Den låga amplituden kan ses i bilagorna för respektive serie som ett lågt höjdiintervall (height range). I bilderna motsvarar den lägsta punkten i ytan nollnivån för höjdiintervallet. Höjdiintervallet visas i bilagorna för alla olika ytor i samtliga serier.



Figur 16. Yttopografiska bilder för 100 % mjuk komponent för kommersiella latexserien (till vänster) samt den mjuka komponenten CHP 5131.1 på glas (i mitten) och på papper (till höger).

Den hårda komponenten i alla serier höll i stort sett sin partikelform utan att smälta ihop. Detta kan ses i Figur 17. Det är tydligt att alla ytor genomgående bestod av latex som mer eller mindre hållit sin partikelform. Den på papper stavbestrykta ytan var inte lika jämn som de två andra ytorna, utan hade vissa ställen som sticker mycket högre upp än andra. Detta kan vara ett resultat av exempelvis föroreningar eller komponenter i latexdispersionen på ytan.



Figur 17. Yttopografiska bilder för 100 % hård komponent för kommersiella latexserien (till vänster) samt den hårda komponenten CHP 5131.3 på glas (i mitten) och på papper (till höger).

Yttopografiska bilder på hela den kommersiella latexserien kan ses i Bilaga 5. ABS-komponenten bildade en film, i vilken kluster av partiellt sammanfogade PS-partiklar befann sig. Då andelen PS var låg, var klustren små och individuellt placerade i ABS-filmen, och med ökande andel PS minskade andelen film mellan PS-partiklarna. När andelen PS ökade, blev klustren av PS större och mera sammanfogade, tills de till slut täckte hela ytan.

Bilaga 6 visar bilder på CHP 5131.3:CHP 5131.1 på täckglas. Serien visade i stort sett samma trend som den kommersiella serien. Den mjuka komponenten bildade en film, i vilken partiklar av den hårda komponenten befann sig. En högre andel hård komponent gav mera kluster av partiklar, som till sist täckte hela ytan. Skillnaden mellan den kommersiella serien och CHP 5131.1:CHP 5131.3 var den att i CHP 5131.1:CHP 5131.3 verkade partiklarna ha hållit sin partikelform i en högre grad jämfört med den kommersiella serien där partiklarna verkade vara mer hopsmälta.

Den på papper stavbestrykta serien kan ses i Bilaga 7. Serien följde i huvudsak samma trend som motsvarande serie på glas, med undantaget att det inte var lika tydligt att den ena komponenten bildade en film och den andra hölls som partiklar. Partiklarna i exempelvis 50:50-blandningen såg ut att vara mera sammanfogade och skillnaden mellan partiklar som bildat en film och partiklar som hållit sin partikelform var otydlig.

Adhesionstestet som gjordes med latexytorna på papper visade att ytan inte förstördes av vatten. En tydlig indikator på att vatten har penetrerat ytan är att pappret ändrar färg till mörkt, men detta hände nu inte. De AFM-bilder som togs av ytorna såg i det närmsta likadana ut som motsvarande vanliga latexytor på papper.

6.2. Ytenergier

I den kommersiella latexserien var den rena ABS-ytan den mest hydrofila, med den lägsta vattenkontaktvinkeln. Den rena PS-ytan var mest hydrofob och hade därmed den högsta vattenkontaktvinkeln. Vattenkontaktvinkeln ökade med ökande innehåll av PS i blandningen, även om resultatet för 60:40-blandningen var lägre än för 40:60.

Den rena ABS-ytan gav också den lägsta kontaktvinkeln med EG. Kontaktvinkeln ökade en aning när andelen PS ökade, ända tills 40:60-blandningen, som gav det högsta värdet på kontaktvinkeln. Med vidare ökande andel PS förblev värdena av kontaktvinkeln lite under det högsta värdet. Skillnaden mellan den högsta och lägsta kontaktvinkeln var väldigt liten, under 10° , och standardavvikelseerna var dessutom rätt stora.

För den DIM som hade varit i kontakt med ljus sjönk kontaktvinkeln först med ökande innehåll av PS, innan den ökade för 60:40. Därefter sjönk kontaktvinkeln igen för 80:20, innan den ökade för 100:0, som gav det högsta värdet. Efter byte av DIM gav 0:100 ett högre värde på

kontaktvinkeln än 100:0. 20:80 hade en något lägre kontaktvinkel än 0:100, och kontaktvinkeln ökade för 40:60 innan den sjönk tills det lägsta värdet uppnåddes för 100:0. Skillnaderna mellan kontaktvinklarna för de olika blandningarna var igen väldigt små samtidigt som standardavvikelseerna var rätt höga. De uppmätta kontaktvinklarna och deras standardavvikelser för den kommersiella serien kan ses i Tabell 2.

Tabell 2. Uppmätta kontaktvinklar och deras standardavvikelser för den kommersiella serien PS:ABS

	θ_w (°)	θ_{EG} (°)	θ_{DIM} (°)	ny θ_{DIM} (°)
0:100	71,75 ± 4,12	38,58 ± 9,39	41,64 ± 10,07	34,25 ± 5,63
20:80	73,39 ± 3,44	41,85 ± 7,06	37,40 ± 8,96	33,90 ± 7,75
40:60	76,29 ± 6,58	46,88 ± 9,38	34,18 ± 7,98	40,41 ± 8,35
60:40	74,53 ± 6,73	41,79 ± 8,74	40,63 ± 12,60	35,82 ± 5,03
80:20	79,86 ± 3,49	44,35 ± 10,18	37,07 ± 8,95	31,68 ± 6,38
100:0	90,22 ± 16,17	45,73 ± 21,37	46,18 ± 28,00	29,27 ± 11,54

Vattenkontaktvinkeln för CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien på glas följde en lite olik trend än den kommersiella serien. Kontaktvinkeln ökade med ökande andel av den hårda komponenten, men gav ett mindre värde för ytorna med 80 och 100 % CHP 5131.3. För EG var trenden den motsatta. Kontaktvinkeln minskade med ökande andel av CHP 5131.3. 100:0 gav det lägsta resultatet. De absoluta värdena för EG var klart större jämfört med värdena för den kommersiella serien.

Ytan med 100 % mjuk komponent gav det högsta resultatet för DIM. Kontaktvinkeln var lägre för 20:80, innan den ökade för 40:60. Efter detta sjönk kontaktvinkeln tills det lägsta värdet uppnåddes för ytan med 100 % hård komponent. Kontaktvinkelresultaten och standardavvikelseerna för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas kan ses i Tabell 3.

Tabell 3. Kontaktvinklar och standardavvikelser för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på täckglas

	θ_w (°)	θ_{EG} (°)	θ_{DIM} (°)
0:100	78,80 ± 3,31	79,16 ± 6,00	55,10 ± 2,73
20:80	80,43 ± 10,84	76,07 ± 4,46	49,45 ± 5,92
40:60	83,99 ± 5,49	75,73 ± 8,26	52,53 ± 9,66
60:40	86,30 ± 5,68	74,82 ± 3,43	51,52 ± 9,78
80:20	78,37 ± 4,34	69,54 ± 11,73	42,35 ± 5,01
100:0	82,76 ± 9,66	46,73 ± 11,97	28,53 ± 5,92

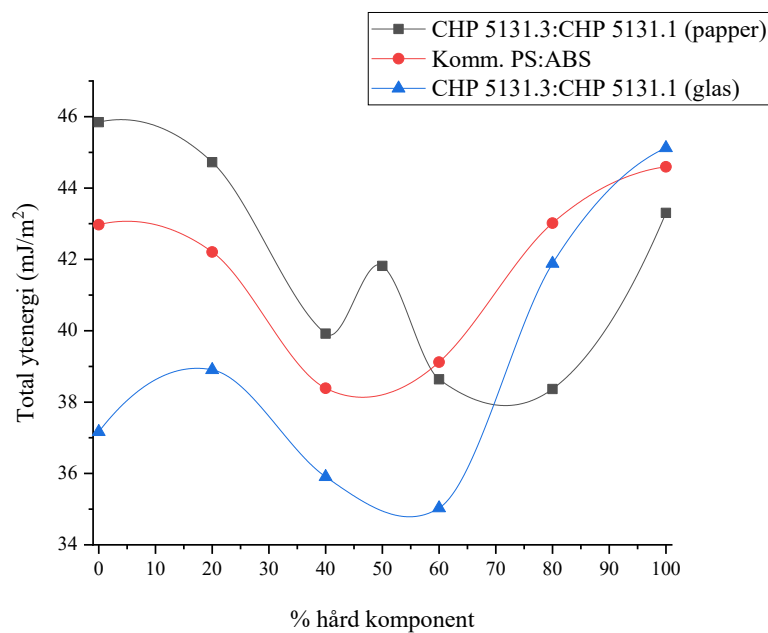
CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien på papper uppvisade en mycket lägre standardavvikelse för de flesta mätningarna. Vattenkontaktvinkeln ökade med ökande innehåll av hård komponent, förutom att 20:80 och 80:20 uppvisade ett något lägre resultat. Kontaktvinkeln med EG ökade olinjärt från 0:100 till 60:40, och blev sedan igen lägre för 80:20, och hade sitt lägsta värde för 100:0.

Resultatet för kontaktvinkeln med DIM följde i stort sett samma trend både före och efter byte av vätska, även om de numeriska värdena skiljde sig en del från varandra. Ända till 40 % CHP 5131.3 ökade kontaktvinkeln med ökande andel hård komponent. För 50:50 sjönk resultatet, innan det ökade igen för 60:40. 80:20 gav ett lägre resultat för den gamla vätskan, och ett högre resultat för den nya. Båda vätskorna gav det lägsta värdet för ytan med 100 % hård komponent. Alla kontaktvinklar och standardavvikelserna för serien kan ses i Tabell 4.

Tabell 4. Kontaktvinklar och standardavvikelser för CHP 5131.3:CHP 5131.1 stavbestrykt på papper

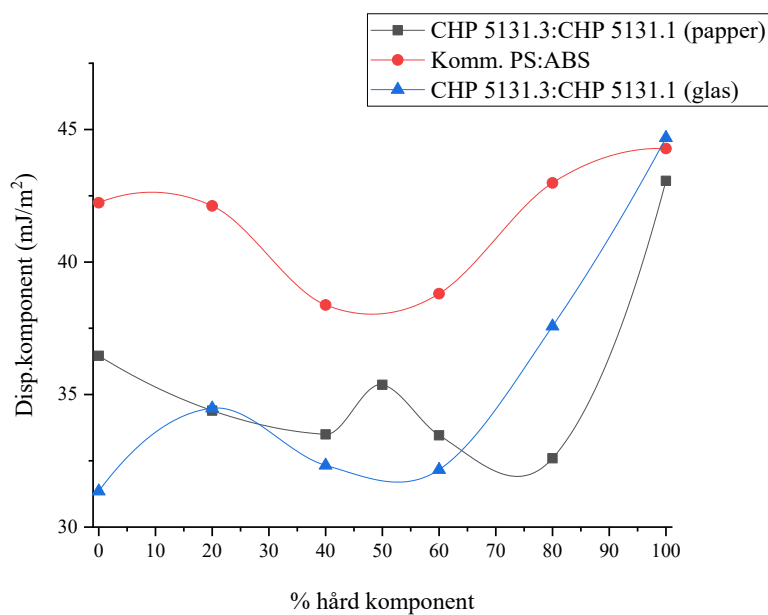
	θ_w (°)	θ_{EG} (°)	θ_{DIM} (°)	ny θ_{DIM} (°)
0:100	65,12 ± 2,02	67,86 ± 2,53	41,80 ± 6,60	45,86 ± 4,34
20:80	63,95 ± 4,44	69,71 ± 1,68	42,65 ± 4,75	49,61 ± 2,04
40:60	72,50 ± 3,83	68,58 ± 3,05	49,75 ± 5,12	50,13 ± 2,75
50:50	74,04 ± 3,67	72,48 ± 2,79	40,02 ± 5,43	47,10 ± 2,09
60:40	78,78 ± 3,12	75,36 ± 2,24	48,97 ± 3,89	50,87 ± 2,83
80:20	76,55 ± 8,14	72,54 ± 2,89	47,53 ± 7,33	52,72 ± 4,21
100:0	90,11 ± 5,26	65,92 ± 5,08	36,89 ± 11,57	32,13 ± 4,46

De olika ytenergikomponenterna beräknades utgående från kontaktvinkelresultaten. För att ta i beaktande ytråheten av ytorna korregerades kontaktvinklarna enligt Wenzels ekvation (ekvation (3)) med hjälp av ytråhetsparametern S_{dr} . De ytråhetskorregerade kontaktvinklarna för alla tre serier kan ses i Bilaga 8. I fråga om den totala ytenergin hade alla ytor en relativt hög ytenergi, och skillnaderna mellan de olika ytorna i en serie var små. I den kommersiella serien hade ytan med 100 % PS den högsta ytenergin. I de andra serierna gav ytan med 100 % hård komponent den högsta energin på glas, medan den 100 % mjuka komponenten hade den högsta ytenergin på papper. Den totala ytenergin för alla tre serier kan ses i Figur 18.



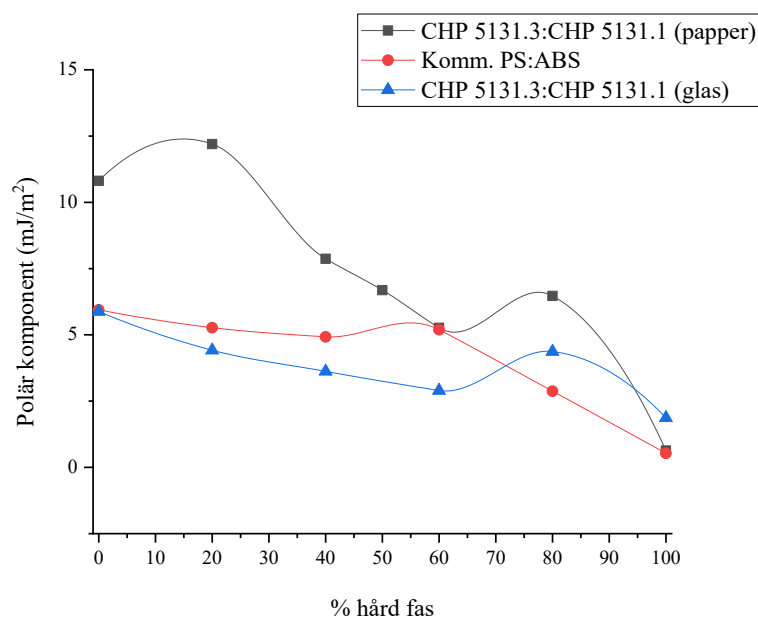
Figur 18. Den totala ytenergin för alla tre latexserier.

Alla tre latexseriers ytenergi dominerades av den dispersiva komponenten. I alla tre serier hade den hårda komponenten den högsta dispersiva ytenergikomponenten, som var nästan den samma för alla tre serier. Skillnaden mellan de olika serierna var större för de andra blandningsförhållandena. Den dispersiva komponenten för de tre serierna visas i Figur 19.



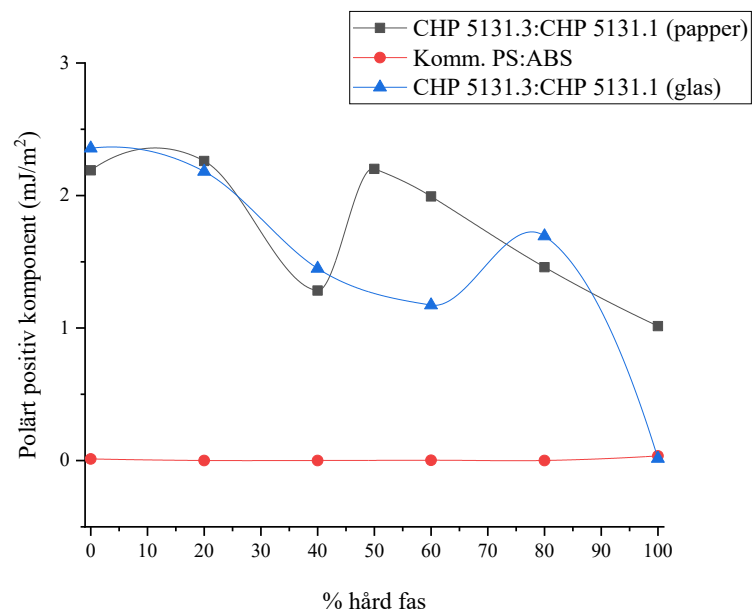
Figur 19. Den dispersiva ytenergikomponenten för alla tre latexserier.

Den polära komponenten var för alla tre serier högst för ytan med 100 % mjuk komponent, medan den var lägst för den hårda komponenten. Skillnaderna i den polära komponenten mellan de olika blandningarna var lägre mellan den kommersiella serien och CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas än mellan den kommersiella serien och CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper. Skillnaderna var också rätt stora mellan CHP 5131.1:CHP 5131.3 på glas och papper. Figur 20 visar den polära komponenten som funktion av andelen hård komponent för alla tre serier.

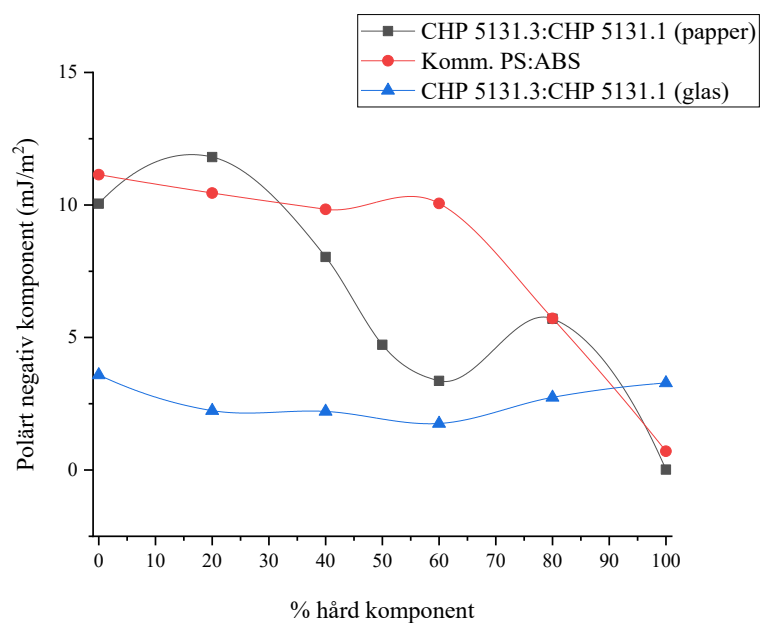


Figur 20. Den polära komponenten för alla tre serier.

Figur 21 och Figur 22 visar den polära komponenten uppdelad i syra- respektive baskomponent. Figurerna visar att den polära komponenten för alla serier huvudsakligen består av en polärt negativ komponent. Den polärt positiva komponenten för den kommersiella serien var kring 0 för varje blandning, även om den rena PS-ytan gav ett något högre resultat. De andra serierna visade en annan trend. 0:100 hade det högsta värdet för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på täckglas, och 100:0 det lägsta. 0:100 och 20:80 hade de högsta värdena för serien på papper, medan den hårda komponenten igen hade det lägsta värdet.



Figur 21. Den polärt positiva komponenten för alla tre serier.



Figur 22. Den polärt negativa komponenten för alla tre serier.

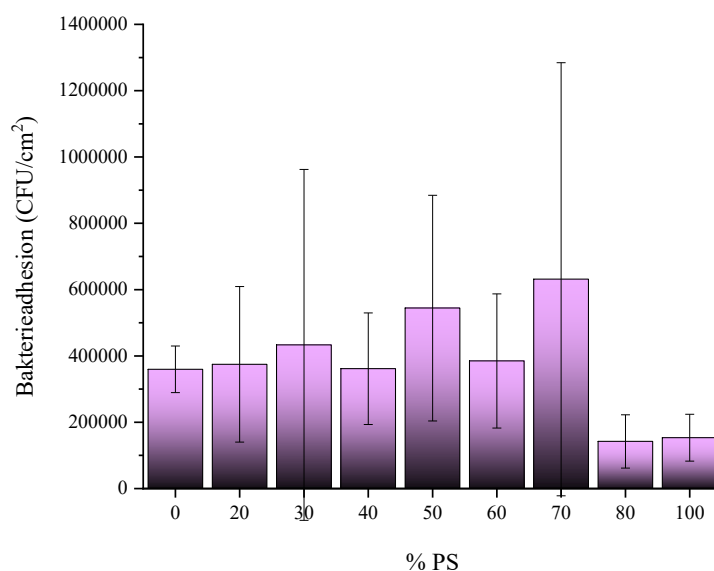
Den polärt negativa komponenten var för CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien på glas nästan densamma för den mjuka och den hårda komponenten, och variationerna i hela serien var också små. För den kommersiella serien och CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper hade den hårda latexen den lägsta baskomponenten, medan 0:100 och 20:80 hade de högsta.

Kontaktvinklarna och ytenergikomponenterna för PDMS och obestruket papper, som användes i detta arbete, kan ses i Tabell 5. PDMS-ytan var den mest hydrofoba och hade högst kontaktvinkel med alla provvätskor. Den totala ytenergin för PDMS var också den lägsta av alla ytor. Pappret å sin sida var också mer hydrofob än latexytorna, med en högre vattenkontaktvinkel, medan den totala ytenergin var högst av alla ytor.

Tabell 5. Kontaktvinklar och ytenergikomponenter för PDMS samt papper

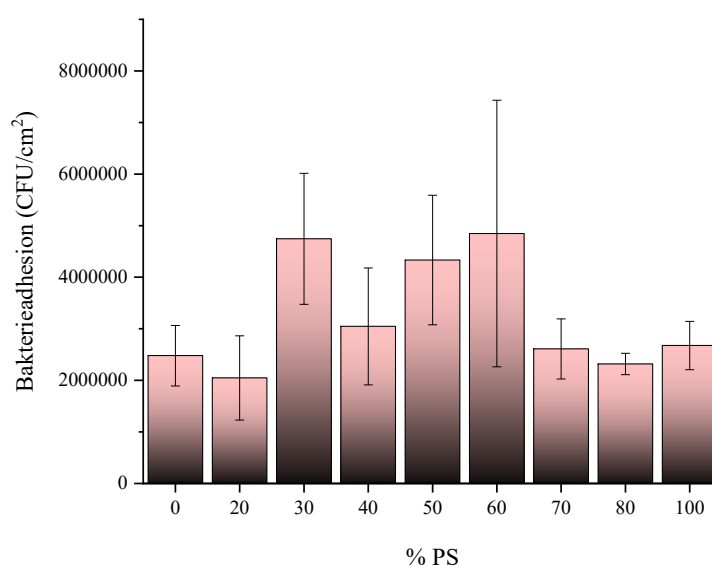
	θ_w (°)	θ_{EG} (°)	θ_{DIM} (°)	γ^{tot} (mJ/m ²)	γ^d (mJ/m ²)	γ^p (mJ/m ²)	γ^+ (mJ/m ²)	γ^- (mJ/m ²)
PDMS	109,95 ± 5,61	91,08 ± 4,55	80,37 ± 5,88	17,66	17,30	0,41	0,08	0,38
Papper	95,94 ± 16,27	37,75 ± 10,75	0	51,24	50,8	0,01	0,17	0,29

6.3. Adhesion och tillväxt av *S. aureus*



Figur 23. Bakterieadhesionen för de olika latexblandningarna i den kommersiella serien med den statistiska modellen. Felgränserna visar den absoluta standardavvikelsen.

Bakterieadhesionen och -tillväxten i den statistiska modellen, visad som kolonibildande enheter (colony forming units, CFU) per kvadratcentimeter, ses i Figur 23. Figuren visar att ytorna med 80 % och 100 % PS hade den lägsta bakterieadhesionen. 70:30, 50:50 samt 30:70 gav högst bakterieadhesion. Skillnaden i bakterieadhesion var minimal mellan de resterande ytorna (0:100, 20:80, 40:60 och 60:40). Felgränserna var dock höga för de olika blandningarna och överlappade varandra. Bakterieadhesionen på rent täckglas var i den statistiska modellen kring 169 700 CFU/cm², vilket betyder att polymerytorna med 80 % och 100 % PS hade lägre bakterieadhesion än de rena täckglasen i denna modell.



Figur 24. Bakterieadhesionen för de olika latexblandningarna i den kommersiella serien med den dynamiska modellen. Felgränserna anger den absoluta standardavvikelsen.

Figur 24 visar bakterieadhesionen i den dynamiska modellen. Bakterieadhesionen var högre för samtliga prov i denna modell än den var i den statistiska modellen. Standardavvikelsen för de flesta proven var också lägre. 60:40 hade den högsta bakterieadhesionen men också den högsta standardavvikelsen. 60:40, 50:50 och 30:70 gav också i denna modell den högsta bakterieadhesionen, medan 20:80 gav den lägsta. För täckglas var bakterieadhesionen 1 730 000 CFU/cm², vilket i detta fall betyder att varje polymeryta hade högre bakterieadhesion än glaset. Generellt sett var skalan för bakterieadhesionen tio gånger högre i modellen med brunnspaltor än den statistiska modellen. Resultatet från den statistiska modellen uppvisade också mindre tydliga trender och korrelationer med ytråhetsparametrar, vilket är orsaken till att enbart resultatet från den dynamiska modellen har beaktats vidare.

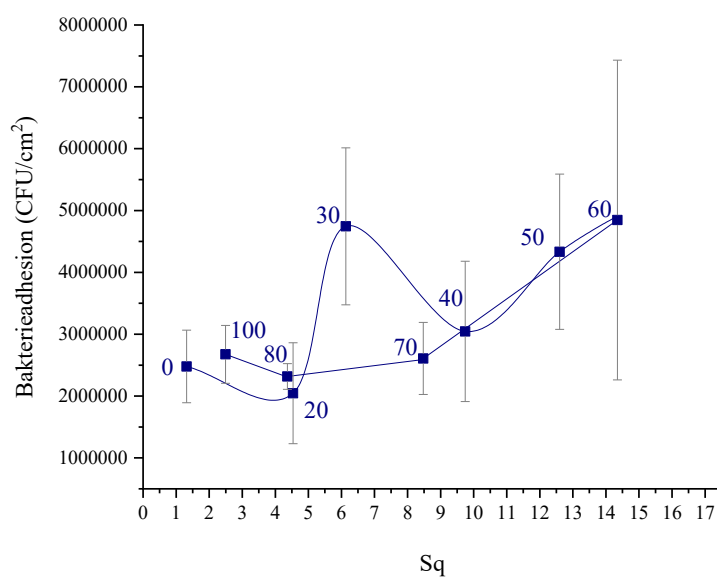
Undersökning om hur bakterieadhesionen påverkades av substratets ytråhet gjordes genom att jämföra bakterieadhesionen mot alla ytråhetsparametrar som erhöles ur AFM-mätningarna. De parametrar som verkade korrelera med bakterieadhesionen presenteras här.

Tabell 6 visar bakterieadhesionen och ett antal ytråhetsparametrar för latexserien. Ytråhetsparametrarna är uträknade som medeltal av 24 bilder för varje blandning, och bakterietillväxten är ett medeltal av 3 mätningar. Ur tabellen kan utläsas att ett högre värde på de olika parametrarna generellt sett korrelerade med en högre bakterieadhesion. Undantagsvis hade 30:70-ytan en väldigt hög bakterieadhesion även om ytråheten var relativt låg. De parametrar som användes vid karakteriseringen av ytorna presenteras skilt i grafer och visas inte i Tabell 6. I dessa grafer (Figur 25, Figur 26 och Figur 27) anges felgränserna som den absoluta standardavvikelsen för varje punkt för att visa variationerna i bakterieadhesionen. Graferna visar också andelen PS vid varje datapunkt.

Tabell 6. Bakterieadhesionen och parametrarna S_a , S_{10z} , $S_{dc50-95}$, S_y , S_{dq} , S_{dq6} , S_v och S_{vk} för de olika latexblandningarna i den kommersiella serien

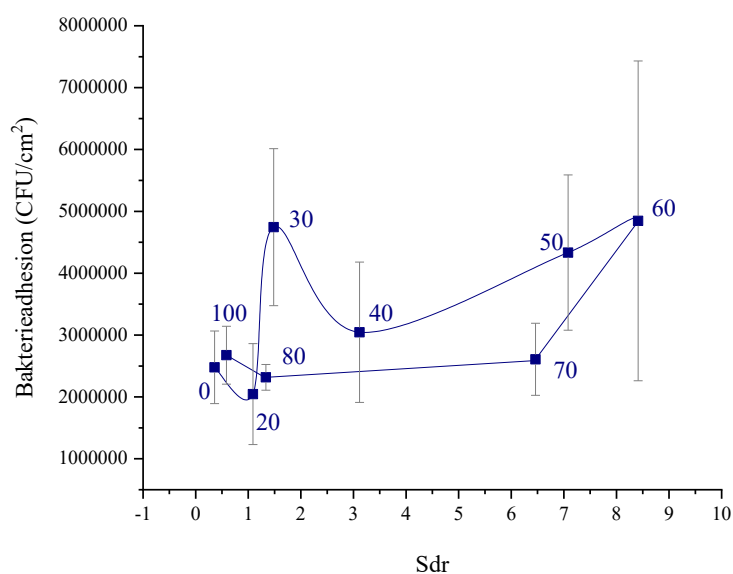
% PS	Bakterietillväxt (CFU/cm ²)	S_a (nm)	S_{10z} (nm)	$S_{dc50-95}$ (nm)	S_y (nm)	S_{dq}	S_{dq6}	S_v (nm)	S_{vk} (nm)
0	2478676	0,86	22,62	1,48	26,08	0,08	0,08	9,89	1,27
20	2045891	3,24	45,82	4,23	51,24	0,14	0,13	16,87	2,55
30	4744726	4,79	62,34	6,76	69,65	0,18	0,17	28,73	3,36
40	3045397	7,95	71,67	15,17	78,09	0,25	0,24	33,44	6,99
50	4332869	9,46	105,10	28,82	112,79	0,40	0,39	71,72	24,46
60	4846853	10,76	128,14	32,29	140,03	0,43	0,43	84,54	27,46
70	2608427	6,07	99,02	16,31	106,85	0,37	0,31	82,78	15,30
80	2317114	3,25	52,43	8,58	59,85	0,16	0,14	37,29	7,21
100	2674559	1,90	32,25	4,23	37,00	0,10	0,09	21,89	3,14

Figur 25 visar hur bakterieadhesionen berodde på parametern S_q . Bortsett från den höga adhesionen hos 30:70-ytan verkade en högre bakterieadhesion uppnås med ett högre värde på S_q .



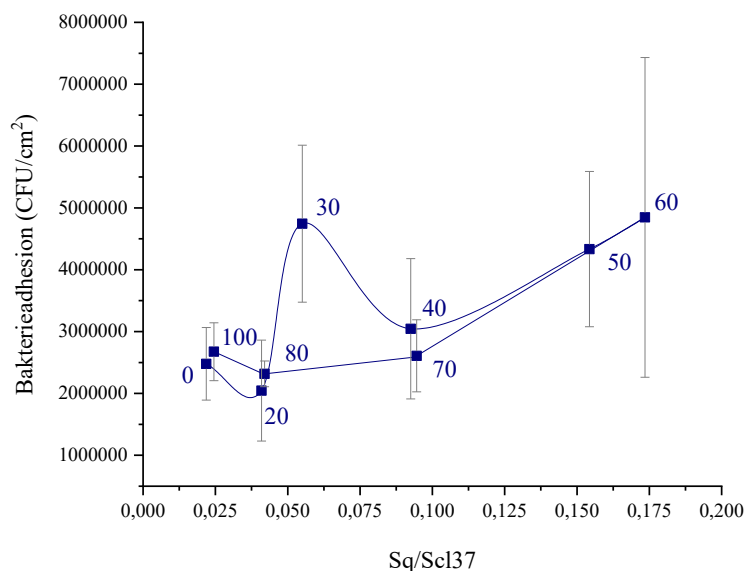
Figur 25. Bakteriadheseionen som funktion av S_q för den kommersiella serien.

Bakteriadheseionen verkade också korrelera med parametern S_{dr} . Detta kan ses i Figur 26. Den högsta bakteriadheseionen uppnåddes med det högsta värdet på S_{dr} . De lägsta värdena på S_{dr} gav den lägsta bakteriadheseionen, med undantaget 30:70-ytan som gav en hög bakteriadheseion med en låg S_{dr} . Ytan med 70 % PS hade också en låg bakteriadheseion med en relativt hög S_{dr} .



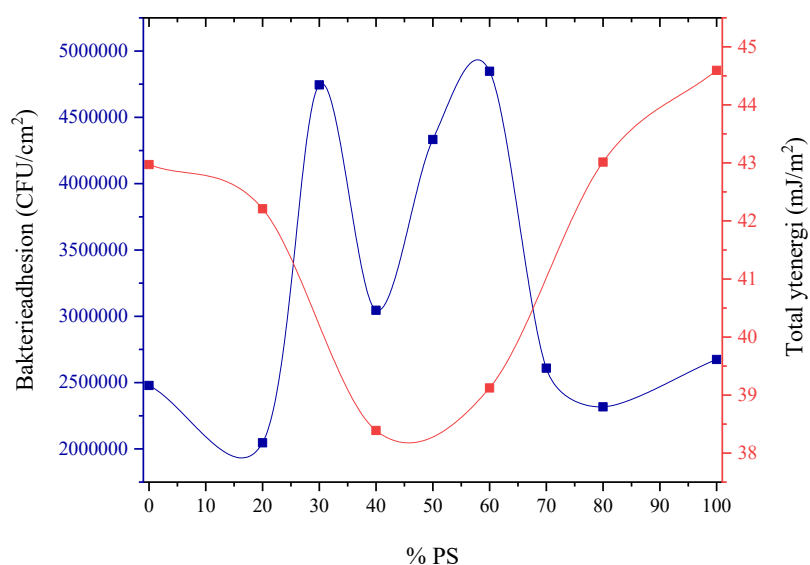
Figur 26. Bakteriadheseionen som funktion av S_{dr} .

S_q/S_{cl37} korrelerade också med bakterieadhesionen på samma sätt som ovan nämnda parametrar. De lägsta värdena på S_q/S_{cl37} gav den lägsta bakterieadhesionen, igen med 30:70 som ett undantag. Den högsta bakterieadhesionen uppnåddes med de högsta värdena på S_q/S_{cl37} . Figur 27 visar bakterieadhesionen som funktion av S_q/S_{cl37} .



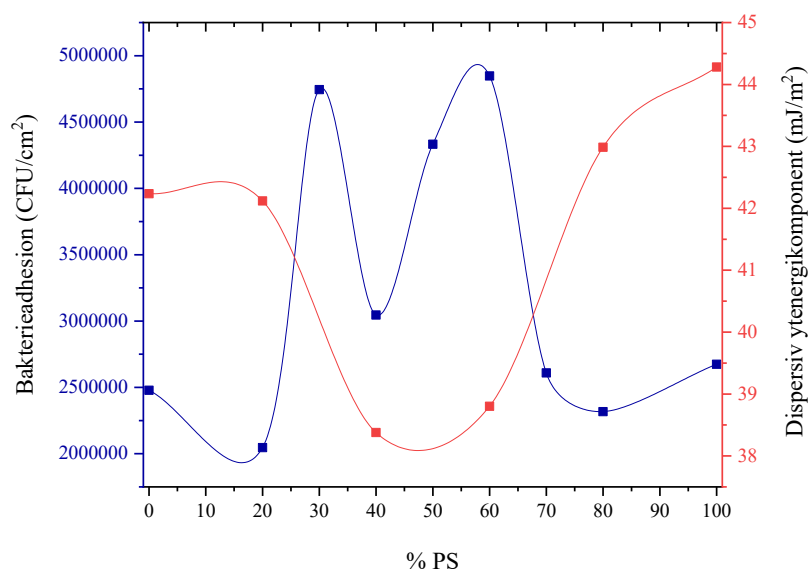
Figur 27. Bakterieadhesionen som funktion av S_q/S_{cl37} .

Bakterieadhesionen på de olika latexytorna jämfördes också med de olika ytenergikomponenterna för att undersöka ifall energin för de olika ytorna påverkar adhesionen av bakterier. På grund av olika antal mätpunkter visas bakterieadhesionen och ytenergin på olika y-axlar i samtliga grafer. Figur 28 visar bakterieadhesionen och den totala ytenergin som en funktion av procentandelen PS. Figuren visar att de ytor som hade den högsta ytenergin hade den lägsta bakterieadhesionen. På samma sätt hade ytor med lägst ytenergi den högsta bakterieadhesionen. Ytan med 30 % PS följde dock inte heller här den allmänna trenden för serien.



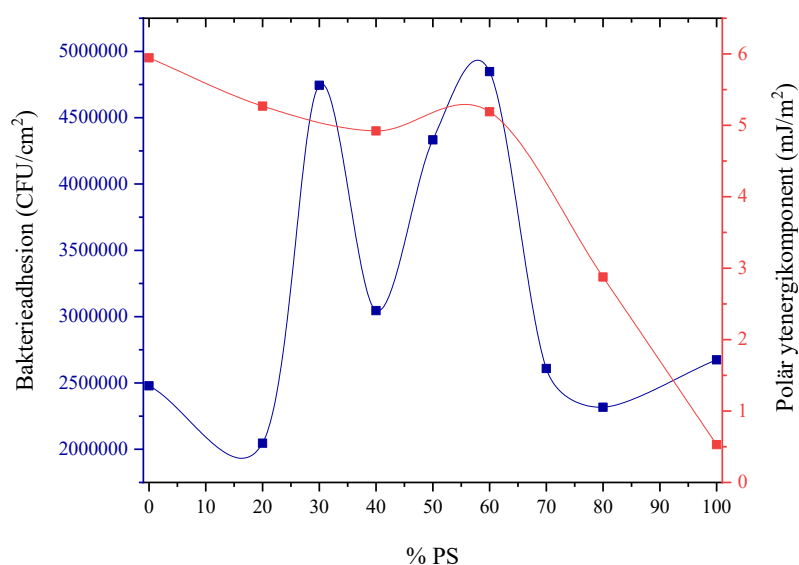
Figur 28. Baktertheadhensionen och γ^{tot} som funktion av andelen PS.

Grafen med γ^d , som kan ses i Figur 29, ser i stort sett ut på samma sätt som grafen med γ^{tot} . Ytorna med den lägsta dispersiva ytenergikomponenten hade den högsta baktertheadhensionen. De ytor som hade högst γ^d hade också den lägsta baktertheadhensionen. Ytan med 30 % PS hade dock återigen en väldigt hög baktertheadhesion och följde inte den allmänna trenden.



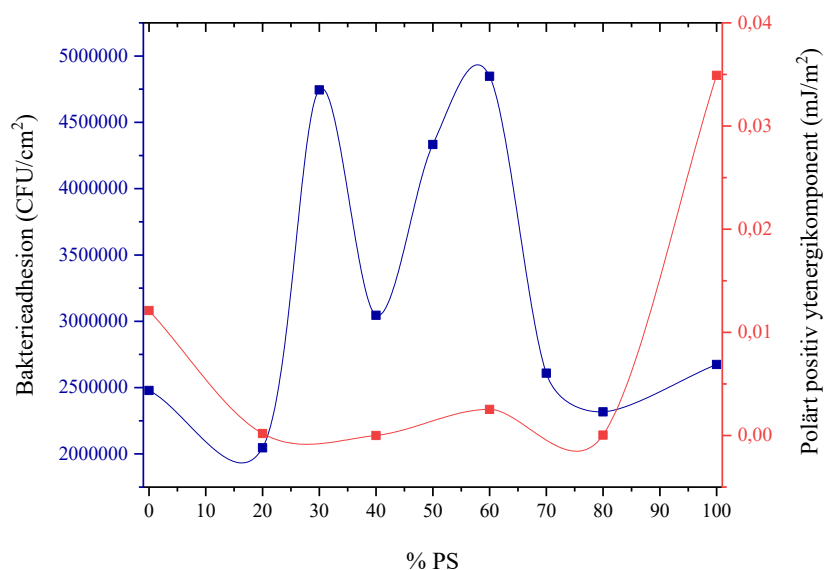
Figur 29. Baktertheadhensionen och γ^d som funktion av andelen PS.

Figur 30 visar hur bakterieadhesionen och γ^p beror på andelen PS. Ytorna med 80 % och 100 % PS hade de lägsta värdena på γ^p och låg bakterieadhesion. För de andra ytorna hade γ^p ett relativt högt värde, och skillnaderna mellan de olika ytorna var små, även om bakterieadhesionen varierade och skillnaderna i bakterieadhesion mellan de olika ytorna var höga.



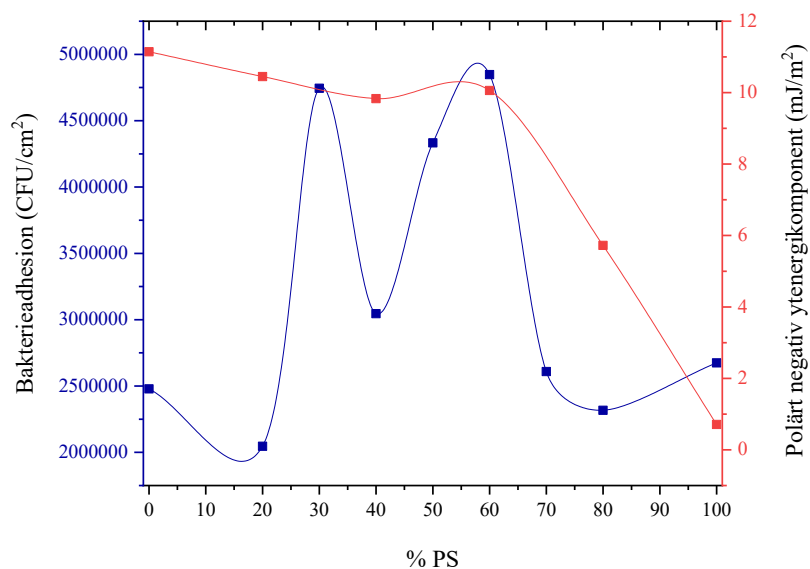
Figur 30. Bakterieadhesionen och γ^p som funktion av procentandelen PS.

Den positiva komponenten av γ^p och bakterieadhesionen ses i Figur 31. Det var väldigt små skillnader i γ^+ mellan de olika latexytorna. Det enda undantaget var ytan med 100 % PS, vars syrakomponent var mycket högre än för de andra latexblandningarna.



Figur 31. Baktertheadhesionen och syrakomponenten som funktion av % PS.

Baskomponenten följde samma trend som den totala polära komponenten. γ^- var lägst för ytorna med 80 % och 100 % PS. Skillnaderna mellan de andra blandningsförhållandena var väldigt små. Sambandet mellan γ^- och baktertheadhesionen kan ses i Figur 32.



Figur 32. Baktertheadhesionen och baskomponenten som funktion av % PS.

7. Diskussion

7.1. Tillverkning av latexytorna

I detta arbete tillverkades och undersöktes tre olika latexserier. Latexblandningarna på glas späddes först ut med vatten till ca 1:2,5 - 3. Latexdispersionerna stavbestryktes utspädda på papper. Dispersionerna späddes ut före ytbeläggning på glas för att filmen som bildades skulle bli tunn och lättare att arbeta med. Det visade sig dock att då polymerytorna torkar, kan en del av latexen samlas på ett visst område på ytan, som då fukten försvinner från dispersionen bildar ett väldigt ojämnt område med djupa veck. Latexytorna täckte ändå hela täckglaset. Ojämnheterna påverkade exempelvis kontaktvinkelmätningen negativt. Nya latexytor med de kommersiella latexerna gjordes genom att dispersionerna späddes ut mindre (ca 1:2). Proven hölls också i rörelse i början av torkningen för att förhindra att latex samlas på vissa ställen av ytan. Polymerytorna som gjordes på detta sätt såg jämnare ut.

Det visade sig även med mindre utspädda dispersioner vara svårt att erhålla jämna polymerytor. I värsta fall kan komponenter ha samlats på vissa ställen av ytan, med en heterogen yta som resultat. Dispersionerna innehöll också exempelvis surfaktanter och andra tillsatser, som vid tillverkning och torkning kan ha samlats på ytan. Merparten av surfaktanterna borde dock försvinna från ytan vid sköljning med MilliQ-vatten, vilket gjordes innan kontaktvinkelmätningen. Också ytbehandling av ytorna, såsom exempelvis IR-behandlingen, borde minska på andelen surfaktanter på ytorna. Detta har också beskrivits i ref. [2]. Ytorna med 80 % och 100 % hård komponent sprack också under tillverkningen, och vid sköljning med MilliQ förstördes ytan och en stor del av ytan lossnade, vilket gjorde kontaktvinklarna svåra att mäta.

Latexdispersionerna kan också ha börjat separera eller degradera då de stod en längre tid efter utspädningen. UV-ljus kan också förstöra latexen, vilket inte borde ha hänt i detta fall, då dispersionerna inte utsattes för direkt solljus. De förvarades dock inte heller på något speciellt sätt, utan fick stå i laboratoriet i rumstemperatur. Eftersom arbetet delvis gjordes under somarmånaderna, varierade temperaturen och luftfuktigheten, vilket kan ha påverkat dispersionerna och ytorna. Variationen i luftfuktighet och temperatur vid AFM-mätningarna kan ses i kapitel 5.2.

7.2. Ytråhet av latexytorna

Genom användning av olika blandningsförhållanden mellan en hård och en mjuk latexkomponent kan ytråheten för polymerytor modifieras. Båda latexserierna på glas följde generellt sett samma trend gällande ytråhet, där det högsta värdet uppnåddes med 60 % hård komponent. Det högsta värdet på parametern S_q låg ungefär på samma nivå för båda serierna (14,3 nm för den kommersiella serien och 13,0 nm för CHP 5131.3:CHP 5131.1). Det absoluta värdet för S_q för de olika latexblandningarna skiljde sig en del mellan de båda serierna, även om den huvudsakliga trenden var den samma. S_{dr} hade också sitt högsta värde vid 60 % hård komponent för båda serierna. Det absoluta värdet var dock lägre för varje blandning i CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien än i den kommersiella serien.

Resultaten från ytkarakteriseringen av de olika latexserierna visar att det går att modifiera ytstrukturen och ytråheten för latexblandningar genom att andelen mjuk och hård komponent varieras. Detta kan göras med olika latexsorter. Skillnader mellan olika latexsorter kan exempelvis bero på att latexer har olika glasövergångstemperatur, vilket kan påverka hur exempelvis värmebehandling påverkar polymerytan. Skillnader mellan latexserierna i detta arbete kan bero på att de olika ytorna tillverkades på exakt samma sätt, och olika egenskaper mellan de olika latexsorterna gav ytor med olika struktur. Tillverkningsprocessen borde möjligtvis optimeras för olika sorters latexer. Det kunde också finnas små hål (så kallade pinholes) på ytorna som påverkade resultatet för olika ytråhetsparametrar. Vissa ytråhetsparametrar kan reagera relativt starkt på hål i ytan.

Det fanns skillnader i ytsruktur mellan den på papper stavbestrykta latexserien och samma serie på glas. Det högsta värdet för merparten av ytråhetsparametrarna uppnåddes med 40 % hård komponent istället för 60 %. Skillnaderna kan bero på processen att tillverka polymerytorna med papper som substrat istället för glas. Metoden i detta arbete resulterade i en väldigt hög standardavvikelse för pappersserien, vilket betyder att för att kunna använda papper som substrat för polymerytorna måste tillverkningsprocessen optimeras så att ett så enhetligt resultat med låg standardavvikelse som möjligt kan erhållas.

Lampan som användes för IR-behandling av proven förorsakade också problem. Lampan var som hetast på några smala områden, och ytorna på glas måste placeras rakt i ett av dessa områden. Ifall proven låg snett, kunde en viss del av en yta bli mer effektivt behandlad än en annan, vilket resulterade i en stor standardavvikelse vid ytråhetsmätningarna. Lampan blev

också progressivt varmare efter varje omgång, vilket leder till att proven kan ha behandlats olika effektivt. För att minimera problemet IR-behandlades endast en omgång prov åt gången, och lampan fick svalna en timme mellan varje gång. Detta gjordes för att försäkra att varje omgång prov fick samma behandling.

IR-behandlingen av de stavbetrykta pappren visade sig också problematisk. Eftersom lampan inte var lika varm på alla ställen, måste pappret ständigt hållas i rörelse för att IR-behandlingen skulle bli så jämn som möjligt. Eftersom detta görs helt manuellt, var det väldigt svårt att hålla höjden densamma under hela behandlingen. Eftersom pappret kom som en rulle från tillverkaren, och stavbetryktes med en vattenbaserad dispersion, böjde sig pappret istället för att hållas platt. Detta gjorde att en del av pappret var närmare IR-lampan. Den del av pappret som var närmast handen blev också minst IR-behandlad. På grund av detta uppvisade ytråheten en stor standardavvikelse för pappersserien. I värsta fall kan det också ha funnits ställen på ytan som inte täcktes av det översta lagret latex, vilket kan ha lett till att det inte var den verkliga latexytan utan i stället det underliggande latexlagret som mättes.

Skillnader mellan ytorna tillverkade med de kommersiella latexdispersionerna och de andra dispersionerna kan bero på en mängd olika orsaker. Eftersom alla ytor inte gjordes samtidigt, kan exempelvis luftfuktigheten och temperaturen ha påverkat tillverkningsprocessen. Då alla ytor fick torka en lika lång stund, kan exempelvis den återstående fuktigheten ha varierat mellan de olika proven. Detta kan i sin tur ha lett till att IR-behandlingen av proven inte blev helt konsekvent, då temperaturen av substratet och tiden som ett visst prov utsattes för en specifik temperatur kan ha varierat med andelen fukt i provet. Då alla prov gjordes på samma sätt kan också exempelvis ytenergierna för de olika latexytorna påverka den bildade filmen och ge skillnader mellan de olika serierna.

7.3. Kontaktvinklar och ytenergier för latexytorna

På grund av att det var svårt att få jämna latexytor på glas, var det också svårt att mäta kontaktvinklarna för ytorna. Detta kan ses som en väldigt hög standardavvikelse för de olika latexblandningarnas kontaktvinkelresultat. För att få ett bra resultat ska droppen siktas på ett så jämnt område som möjligt, vilket visade sig vara svårt, då ytorna var så ojämna. På de ytor som hade sprickor, hade vätskedroppen en tendens att rinna bort längs med sprickorna.

Kontaktvinkelresultatet för latexytorna på papper uppvisade generellt en lägre standardavvikelse. Detta kan bero på att latexytorna på papper torkade jämnare, då de inte bildade motsvarande ojämna områden som bildades då latexen torkade på glas. Sprickorna som uppkom på vissa ytor var inte lika omfattande som på glas, vilket gjorde att de påverkade resultatet mindre på pappret.

I varje latexserie som här undersöktes var den mjuka komponenten den mest hydrofila och hade den lägsta vattenkontaktvinkeln. I den kommersiella serien ökade θ_w från 71,75° till 90,22° då andelen PS ökade. Ökningen var dock inte linjär, och trenden med ökande kontaktvinkel fluktuerade lite kring blandningsförhållandet 50:50.

Delvis samma trend kunde ses hos CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas, där θ_w ökade från 78,80° till 86,30° med ökande andel CHP 5131.3 upp till 60 % CHP 5131.3. Ytorna med 80 % och 100 % hård komponent hade ett lägre värde på θ_w , antagligen på grund av redan diskuterade orsaker med tillverkningen av ytorna.

Serien på papper hade en θ_w som ökade från 65,12° till 90,11°. Också i denna serie fanns blandningar som hade ett värde på θ_w som avvek lite från trenden. Resultaten hade generellt en lägre standardavvikelse än serierna på glas, vilket tyder på att stavbetrykning på papper är en bättre metod än droppbeläggning på glas då kontaktvinklar för latexytor ska mätas, då resultatet blir en jämnare polymeryta.

Kontaktvinklarna med de andra mätvätskorna följde inte på samma sätt en tydlig trend som θ_w , utan resultatet varierade från högre till lägre mellan de olika blandningarna i varje serie. Standardavvikelsen för pappersserien var igen lägre än för serierna på glas. I allmänhet var det inte heller stora skillnader mellan de olika blandningarna i en serie.

Orsaken till de små skillnaderna i kontaktvinkeln mellan de olika blandningarna i en serie kan bero på den mjuka komponenten. Eftersom exempelvis θ_w i allmänhet ökade endast en liten del mellan de olika blandningarna som innehöll mjuk komponent, och mera drastiskt till ytan med endast hård komponent, kan den mjuka latexens påverkan på kontaktvinkeln vara större än den hårda latexens. Den mjuka komponenten kan ha lagt sig ovanpå den hårda och gjort ytan mer hydrofil.

Resultaten visade att det fanns skillnader mellan kontaktvinklarna före och efter byte av DIM. Resultatet efter byte av DIM är det mest pålitliga i detta fall. Detta tyder på att det är viktigt att minnas att också själva vätskorna kan påverka pålitligheten av resultaten. En fotosensitiv vätska

som DIM kräver extra noggrannhet vad gäller lagring och hantering, så att sönderfall till andra komponenter kan undvikas. Även om resultaten ändrade efter byte av DIM, uppvisade proven relativt höga standardavvikelser och variationer från de huvudsakliga trenderna, vilket tyder på att latexytorna var heterogena och det var svårt att mäta kontaktvinklarna på ett precist och tillförlitligt sätt.

Skillnaderna i ytenergi mellan de olika blandningarna i en serie var också små. Resultaten hade också i detta fall en hög standardavvikelse. För båda serierna på glas hade ytan med 100 % hård komponent den högsta γ^{tot} och γ^{d} . Generellt sett borde hydrofoba ytor ha en lägre ytenergi, vilket i detta fall inte var fallet. För pappersserien hade 0:100-ytan den högsta γ^{tot} , medan 100:0 hade den högsta γ^{d} . Orsakerna till detta kan härstamma från problem med kontaktvinkelmätningarna, felaktigheter i beräkningsmodellerna samt det faktum att resultaten hade en så hög standardavvikelse.

Ur resultaten kan ses att γ^{d} för CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien var väldigt låg och skillnaden till de andra serierna var hög. Det låga värdet på γ^{d} kan vara orsaken till att dispersionerna hade en så dålig adhesion till glassubstraten. Orsaken till att resultaten skiljde sig ifrån motsvarande serie på papper kan möjligtvis ha sin förklaring i det faktum att proven var heterogena och det var svårt att få ett precist kontaktvinkelresultat.

γ^{p} för alla serier hade det lägsta värdet vid 100 % hård komponent. I regel är hydrofoba ytor mindre polära, vilket stämmer överens med resultaten i detta arbete. De mest hydrofila ytorna, det vill säga ytorna med 0 % och 20 % hård komponent, hade också de högsta värdena på γ^{p} .

γ för den kommersiella serien hade nästan samma höga värde för alla blandningar upp till 60 % PS, varefter γ sjönk till ca hälften vid 80 % PS, och till det lägsta värdet ($0,71 \text{ mJ/m}^2$) för 100 % PS. Detta kan igen bero på den mjuka ABS-komponenten i blandningarna, då komponenten kan lägga sig på ytan och påverka resultatet så att skillnaderna mellan de olika blandningarna blir små. Vid 80 % PS är andelen ABS så liten att dess påverkan också blir mindre.

γ för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas varierade endast en liten del mellan de olika blandningarna, och resultatet var också mycket lägre än för den kommersiella serien. På papper hade de rena polymerytorna i huvudsak samma värde som den kommersiella serien, medan resultatet för de olika blandningarna varierade mycket. Det sågs inte en tydlig trend, och en möjlig orsak till detta kan igen vara olika komponenter i blandningarna som gjorde ytorna heterogena.

För den kommersiella serien låg γ^+ ungefär vid 0 för alla blandningar. För den rena PS-ytan var resultatet en aning högre än för de andra blandningarna. För CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas hade 0:100-ytan det högsta värdet på γ^+ medan 100:0 hade det lägsta. På papper hade också 100:0-ytan den lägsta γ^+ . Värdet på γ^+ var för denna yta mycket högre än för de andra serierna.

Orsakerna till att de olika ytenergikomponenterna hade så höga variationer och inte tydligt följde någon trend kan härstamma från problem vid kontaktvinkelmätningarna och de höga felgränserna för kontaktvinklarna. De modeller som används för beräkning av ytenergikomponenter behöver inte nödvändigtvis vara helt korrekta. De olika modellerna som används för uträkning av olika komponenter behöver inte heller stämma överens sinsemellan, vilket betyder att resultaten inte nödvändigtvis motsvarar de exakta, verkliga ytenergierna. Den polära komponenten för latexytorna i detta arbete beräknades med OWRK-metoden, medan γ^+ och γ^- beräknades med vOCG-metoden, vilket resulterade i att dessa komponenter möjligtvis inte stämmer överens helt.

7.4. Bakterieadhesionens samband med ytråheten

När ytråheten av olika material undersöks, rapporteras ofta parametrarna S_a och S_q . S_a ger medelytråheten som summan av de lodräta höjdvärdena för ytan [30]. Problemet med undersökningar relaterade till ytråhet är att en stor del resultat är begränsade till att bara beskriva S_a , vilket inte ger en detaljerad bild av en viss yta. S_q , som beskrivits i kapitel 6.1., är en parameter som också ofta rapporteras. S_a och S_q visade sig i detta arbete korrelera med bakterieadhesionen på ytan. En högre ytråhet resulterade generellt sett med en högre adhesion. Detta kan förklaras med att då andelen polystyren ökade i latexblandningarna, ökade ytråheten som en följd av högre struktur på ytan. En yta med mer struktur ger ett bättre underlag för bakterietillväxt, då toppar och dalar i ytan bildar ett skydd mot yttre faktorer (exempelvis friktion). Topparna kan också tänkas erbjuda bindesäten (binding sites) för bakterieceller. S_a och S_q ger ändå inte en fullständig bild av en yta, eftersom de bara beskriver egenskaper i höjddled. S_q föredras ändå i de flesta fall över S_a , då parametern ger en bättre bild av ytan än S_a .

S_{dc50_95} är en parameter som beskriver höjdskillnader i ett specifikt höj dintervall i den så kallade Abbott-Firestones kurvan (bearing area curve). Grafen visar hur stor andel av en viss ytas area ligger på en specifik höjd (för exempel på en dylik graf, se bilaga 9). För de kommersiella latexytorna i detta arbete hängde S_{dc50_95} ihop med S_q , på det sättet att ett högt S_q gav ett högt

S_{dc50_95} . Orsaken till att ett högre värde på S_{dc50_95} gav en högre bakterieadhesion kan vara på grund av att parametern beskriver det område av ytans profil där bakterierna huvudsakligen fäster sig. Parametern beaktar inte de djupa dalarna i ytan. Bakterierna fäster sig heller inte i djupa dalar, då skalan för dalarna kan vara mindre än bakteriernas storlek. Ifall merparten av bakterierna kan tänkas fästa sig mellan 50 % och 95 % bärarea, ger ett högre värde på S_{dc50_95} mer yta för bakterierna att fästa sig på, vilket kan leda till en högre bakterieadhesion. En annan möjlig förklaring för korrelationen mellan bakterietillväxten och S_{dc50_95} skulle kunna vara ifall bakterierna föredrar att fästa sig på områden med lutning istället för att fästa sig på vågräta områden. Bakterier kan fästa sig på ett sådant sätt att skyddet mot yttre krafter maximeras. När bakterier fäster sig på områden som inte är helt vågräta, kan skyddet mot friktion och andra laterala krafter maximeras.

S_{dr} , som beskrivits tidigare i detta arbete, hade också en korrelation till bakterieadhesionen. Ett högre värde på S_{dr} betyder att ytan har en högre tredimensionell area, vilket i sin tur betyder att bakterierna har mera area att fästa sig på. I de flesta fall gynnades bakterieadhesionen av mera ytarea då bakterierna oftast strävar efter att maximera kontaktarean till ytan.

S_{vk} är en parameter som verkade korrelera med bakterieadhesionen. Det finns dock en möjlighet att detta endast är ett sammanträffande och ingen verklig korrelation mellan parametern och bakterieadhesion finns. S_{vk} beskriver daldjupet och beräknas utifrån Abbott-Firestones kurva [29]. Parametern tar i beaktande de djupaste dalarna i ytan, vilket betyder att bakterieadhesionen inte behöver korrelera med parametern då bakteriernas storlek förhindrar dem ifrån att nå de djupaste dalarna. Korrelationen med bakterieadhesionen kan vara ett resultat av det faktum att ett högre värde på S_{vk} uppnås med en högre S_q , vilken i sin tur korrelerade med bakterieadhesionen.

S_y och S_{10z} beskriver höjdskillnaden mellan den högsta och lägsta punkten på ytan respektive medeltalet av höjden av de fem högsta och fem lägsta punkterna [29]. Båda dessa parametrar visade en korrelation med bakterieadhesionen. Skillnaden mellan dessa parametrar är att S_y är mera känslig för brus, det vill säga enstaka höga eller låga punkter, såsom exempelvis dammpartiklar, kan leda till felaktiga tolkningar. I detta arbete mättes dock så många punkter att problemet borde ha minimerats. Korrelationen med bakterieadhesionen härstammar troligen från det faktum att högre S_y och S_{10z} betyder större höjdskillnader på ytan, vilka i sin tur kan gynna bakterieadhesionen.

S_v är en parameter som beskriver djupet av den djupaste dalen, beräknad från medellinjen [30]. Även denna parameters korrelation med bakterieadhesionen kan vara ett sammanträffande eftersom parametern beskriver en extrem egenskap av ytan. Bakteriernas storlek kan dessutom förhindra dem från att nå de djupaste ställena i ytan, vilket kunde betyda att daldjupet inte direkt korrelerar med bakterieadhesionen.

S_{dq} och S_{dq6} gav sinsemellan nästan samma resultat för de olika ytorna. Parametrarna beskriver medelvärde av kvadraten på lutningen av de olika punkterna på ytan. Skillnaden mellan dessa två parametrar är att S_{dq} tar i beaktande flera punkter i beräkningen [31]. För en komplex yta med mer variationer i höjdled på ett kort lodrätt avstånd, exempelvis många skarpa pika, har S_{dq} ett högre värde. Ett lågt värde på S_{dq} betyder att ytan är plattare och amplituden varierar inte lika frekvent. Orsaken till att ett högt värde på S_{dq} (och S_{dq6}) korrelerar med en högre bakterieadhesion är således den att ett högre värde på S_{dq} betyder att ytan har mer struktur, vilket igen gynnar bakterieadhesionen.

S_q/S_{cl37} visade också att ett högre värde gynnade bakterieadhesionen. Den högsta bakterieadhesionen uppnåddes med ett relativt lågt värde på S_{cl37} , även om vissa ytor hade en låg bakterieadhesion med ett lågt värde på S_{cl37} . S_{cl37} beskriver frekvensen av ytegenskaperna [32]. Ett högt värde på S_{cl37} betyder att ytan består av komponenter som ändrar med en låg frekvens, med andra ord är topparna och dalarna breda och variationerna i höjdled sker inte snabbt. Ytan är således mer platt. En yta med ett lågt värde på S_{cl37} har ytkomponenter som varierar med en högre frekvens, det vill säga topparna och dalarna är skarpare och varierar snabbare. En yta med lågt S_{cl37} ger således ett bättre underlag för bakterier att fästa sig vid.

Båda latexserierna på glas hade en liknande ytråhet. 60:40-blandingen hade det högsta värdet på parametrarna som diskuterats här. S_{cl37} var relativt lågt för båda serierna. Detta tyder på att 60:40-blandningen i båda serierna ytråhetsmässigt kunde vara det bästa substratet för bakterietillväxt. De flesta parametrar hade ett något lägre värde för CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien än för den kommersiella serien. Skillnaden är liten, och behöver inte alls påverka exempelvis bakterieresponsen, men ifall en yta som är så lika den kommersiella som möjligt är det som eftersträvas, måste tillverkningsprocessen av latexytorna möjligtvis optimeras ytterligare. Båda serierna tillverkades på samma sätt, vilket kan betyda att CHP 5131.3:CHP 5131.1 kan bli plattare då exempelvis glasövergångstemperaturen är lägre. Latexpartiklarna kan ha smält ihop mera på dessa ytor. De yttopografiska bilderna för alla serier visar dock att CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien höll sin partikelform i högre grad än den kommersiella serien, vilket endera kan betyda att partiklarna verkligen höll sin partikelform eller så beskriver bilderna av

ytorna inte hela serien på ett ändamålsenligt sätt och visar exempelvis ytor som inte har IR-behandlats tillräckligt mycket. Ytråheten för dessa ytor avviker då en hel del från medeltalet för hela serien.

Som redan tidigare diskuterats är rapporteringen av resultat angående bakterieadhesionens beroende av ytråheten ofta väldigt begränsad till ett fåtal ytråhetsparametrar, vilket blir problematiskt då en omfattande bild av en ytas struktur fattas. Resultaten i detta arbete stämmer ändå överens med tidigare resultat, som visar att en högre ytråhet gynnar bakterieadhesionen. De parametrar som i andra tidigare undersökningar har visats påverka bakterieadhesionen (S_a , S_q , S_{dr} och S_{cl37} , se kapitel 3.1.) verkade korrelera med bakterieadhesionen på motsvarande sätt i detta arbete.

Vid rapporteringen av ytråheten för substrat, och i synnerhet i tillämpningar med bakterieadhesion och tillväxt, är det mest ändamålsenligt att rapportera flera ytråhetsparametrar, och också parametrar som beskriver olika egenskaper. S_a och S_q beskriver båda den lodräta höjden, men S_q ger ändå en statistiskt bättre bild av ytan. Det är ofta onödigt att rapportera både S_a och S_q , då båda parametrarna beter sig på motsvarande sätt. Som ett komplement till S_q är det lämpligt att också rapportera S_{dr} och S_{cl37} , eftersom de verkade ha en stark korrelation med bakterieadhesionen. För att ännu få en bättre bild av ytans struktur kan andra parametrar, såsom exempelvis S_{dq} och S_{dc50_95} användas. Svagheter med de andra parametrarna som korrelerade med bakterieadhesionen i detta arbete (S_y , S_{10z} , S_{vk} , och S_v) har redan diskuterats ovan.

7.5. Bakterieadhesionens samband med ytenergin

Resultaten som kan ses i Figur 28 och Figur 29 tyder på att en högre bakterieadhesion uppnås med ett lägre värde på både γ^{tot} och γ^d . Detta verkar inte stämma med andra resultat (se kapitel 3.2.), som tyder på att bakterieadhesionen gynnas av en högre ytenergi. Tidigare undersökningar med *S. aureus* har dock visat liknande resultat som i detta arbete. Skillnaderna mellan resultaten mellan de olika latexblandningarna var dock väldigt små, och ytenergin för varje blandning var ändå relativt hög.

De ytor som var minst polära, det vill säga 80:20 och 100:0 hade också en låg bakterieadhesion. Generellt sett främjar polära ytor bakterieadhesionen, vilket också resultatet i Figur 30 tyder på.

Den mest polära ytan hade inte den högsta bakterieadhesionen, vilket i detta fall troligtvis betyder att ytråheten också spelar en stor roll vid bakterieadhesionen. Detta är logiskt eftersom 0:100 ytan var slätast och hade väldigt lite struktur (få toppar och dalar med dessutom låg amplitud).

När det gäller γ^+ och γ^- hade ytan med 100 % PS den högsta γ^+ och den lägsta γ^- , vilket tyder på att en låg γ^+ och en hög γ^- främjar bakterieadhesionen, men slutsatser är svåra att dra då skillnaderna mellan de olika blandningarna igen var väldigt små och exempelvis 0:100 och 20:80-ytorna hade en låg bakterieadhesion även om γ^+ och γ^- var låga respektive höga för ytorna.

Resultaten i detta arbete visar att ytorna med lägst ytråhet hade den lägsta bakterieadhesionen. Ifall ytkemin tas i beaktande, borde ytorna som är mer hydrofoba (80:20 och 100:0) ha en lägre bakterieadhesion enligt litteraturen. Detta stämmer inte helt, eftersom ytan 0:100 hade en aning högre bakterieadhesion än 20:80 och 80:20, men lite lägre än 100:0. 100:0 hade dock en högre ytråhet (S_q) än 0:100, vilket kan vara orsaken till den högre bakterieadhesionen och tyder på att både ytenergi- och topografibidraget alltid bör tas i beaktande i tolkningen. 20:80 hade dock en lägre bakterieadhesion än 0:100, även om ytråheten var högre. 80:20 hade också högre ytråhet än 0:100, men bakterieadhesionen var lägre. Skillnaden i bakterieadhesion mellan dessa fyra ytor var ändå väldigt liten och felgränserna höga.

Det är viktigt att ta i beaktande att de flesta resultaten hade höga felgränser. För att resultaten ska vara mer noggranna borde fler mätpunkter användas vid varje mätning. Kontaktvinklarna för den kommersiella serien mättes för färre latexblandningar än bakterieadhesionen sedan testades på. Fler mätpunkter kan ge möjligheten att eliminera vissa punkter som avviker avsevärt från de andra mätpunkterna och på så vis minska på felgränserna. Det kan också finnas variationer mellan de olika bakteriecellerna, vilket kan vara orsaken till att 30:70-ytan hade en hög bakterieadhesion som avvek tydligt från den allmänna trenden.

Det har visats i bland annat ref. [25] att ytråheten och ytkemin hänger ihop på det sättet att en högre ytråhet ger en lägre ytenergi. På en yta med högre ytråhet är den elektrostatiske repulsionen och van der Waals attraktion lägre, vilket ger en lägre ytenergi. Resultaten i detta arbete stämmer i princip överens med denna teori, då ett och samma prov uppvisade både den högsta ytråheten och den lägsta totala ytenergin i den kommersiella serien. Slutsatsen om att en hög ytråhet ger en lägre ytenergi kan dock i detta fall inte dras, då två olika faktorer, ytstrukturen och blandningsförhållandet mellan två komponenter med olik ytenergi, varierades i arbetet.

I kapitel 3.2. beskrevs bakterieadhesionens samband med ytenergin, och enligt tidigare forskning borde en hydrofil yta (med högre ytenergi) gynna bakterieadhesionen mer än en hydrofob, lågenergetisk yta. Resultaten i detta arbete tyder dock på det motsatta, det vill säga att en lägre ytenergi gynnar adhesionen. En möjlig orsak till detta är att det är stora skillnader mellan olika bakterier och också mellan bakterier inom samma stam. Det finns tidigare undersökningar som tyder på att adhesionen och tillväxten av *S. aureus* påverkas positivt av en högre hydrofobicitet [3]. Det är också viktigt att ta i beaktande att både ytråheten och ytenergin varierades i detta arbete. I experiment som bara undersöker hur bakterieadhesionen beror på ytenergin utan att ta i beaktande ytråheten, i synnerhet då ytråheten är den samma för olika substrat, kunde resultatet troligtvis också tyda på att en högre ytenergi gynnar bakterieadhesionen för olika bakterier.

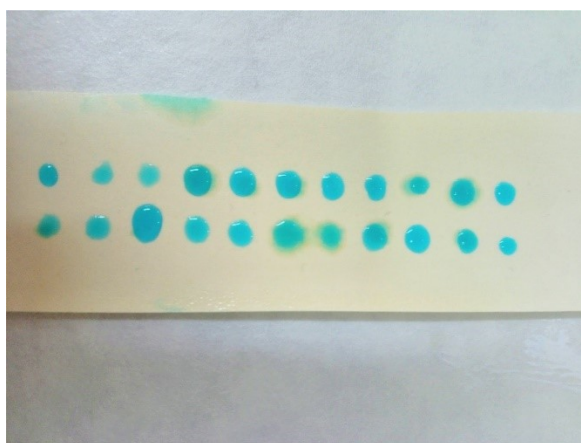
Resultaten i detta arbete visar att adhesionen av *S. aureus* gynnades av ökande ytråhet och hydrofobicitet hos substratet. Bakterieadhesionen ökade då värdet på vissa specifika ytråhetsparametrar, den polära samt den polärt negativa ytenergikomponenten ökade samtidigt som den totala ytenergin, den dispersiva och den polärt positiva ytenergikomponenten minskade. Detta tyder på att samtidigt som en högre ytråhet erbjuder ett bättre underlag för bakterieadhesionen på grund av mer ytarea och struktur, maximeras interaktionerna mellan bakteriecellen och substratet då γ^{tot} , γ^{d} och γ^+ är låga och γ^{p} samt γ^- är höga. Förklaringen till detta kan ha sin grund i bakteriecellens egenskaper, såsom dess laddning och energi. *S. aureus* kan föredra hydrofoba polära ytor med hög ytråhet och starka basegenskaper samt låg dispersiv komponent på grund av egenskaper hos bakteriecellen.

Resultaten i detta arbete förstärker bilden av bakterieadhesionen och tillväxten som ett väldigt komplext fenomen som påverkas av ett stort antal faktorer. Slutsatser om en viss faktors påverkan på adhesionen kan inte dras utan att ta i beaktande andra faktorer. I detta fall går det inte att dra exakta slutsatser om enskilda ytråhets- och ytenergikomponenters påverkan på adhesionen av *S. aureus*-bakterieceller, utan de olika komponenternas bidrag måste alltid tas i beaktande. Det använda substratet kunde också tänkas påverka resultaten. En möjlig orsak till rapportering av olika resultat kan vara det faktum att undersökningar har gjorts på olika substrat, och resultaten kan också påverkas av själva typen av substrat.

7.6. Pappersbaserad plattform för cellstudier

CHP 5131.3:CHP 5131.1-serien hade en väldigt dålig adhesion till glas, vilket gjorde att det var i det närmsta omöjligt att testa bakterieadhesionen på dessa ytor. Adhesionen till glas kan förbättras med ett lager av den mjuka komponenten under polymerytan, men adhesionen till glas förbättrades inte nämnvärt med denna metod. Papper är ett lovande substrat för latexytor ämnade för bakteriestudier, eftersom polymerytorna har en bättre adhesion till papper än till glas, och ytan förstörs inte av vätska, vilket sågs som resultat av adhesionstestet som gjordes.

Resultaten i detta arbete visar att bakteriers adhesion och tillväxt på ytor kan påverkas genom att ändra på ytråheten och ytkemin av ytan. En pappersbaserad plattform med en latexyta ger ett substrat som har många fördelar gentemot exempelvis glas. Strukturen på latexytorna kan på ett enkelt vis modifieras för att maximera bakterietillväxten. Pappersplattformen kunde användas till undersökningar där exempelvis bakteriers och andra cellers respons på olika ämnen undersöks.



Figur 33. Bild av en pappersbaserad plattform som kunde användas som substrat för cellstudier.

Tanken bakom den pappersbaserade plattformen är att PDMS-ytan med sin höga hydrofobicitet och låga ytenergi styr cellerna till de områden som inte täckts av PDMS, det vill säga de områden där latexytan är blottad. I dessa brunnar (blåa områden i Figur 33) får cellerna sedan växa, och då en viss substans tillsätts fås resultat om substansen gynnar eller missgynnar cellernas adhesion och tillväxt. En pappersbaserad plattform kunde vara ett bra substitut för andra substrat som nu används för cellstudier.

Vid tillverkningen av den pappersbaserade plattformen är det viktigt att försöka få hela området behandlat på samma sätt. Den höga standardavvikelsen kan bero på IR-behandlingen, eller i värsta fall kan det ha funnits områden som inte fullständigt täcktes av det översta lagret latex. Tillverkningsprocessen för den pappersbaserade plattformen bör optimeras så att strukturen på latexytorna blir snarlik den som uppnåddes med samma dispersioner på glas.

8. Avslutning och slutsatser

Adhesionen av *S. aureus* varierade mellan de olika latexblandningarna i den kommersiella serien. Adhesionen undersöktes med två olika modeller, men endast resultatet från modellen med brunnsplattor togs i beaktande då sambandet mellan ytråheten och bakterieadhesionen undersöktes. Modellen med brunnsplattor gav en bakterieadhesion som var ca tio gånger högre än i den statiska modellen. Felgränserna för resultaten i denna metod var också generellt sett lägre, även om de också var höga.

Resultaten visade att ytan med 60 % PS hade den högsta bakterieadhesionen. Ett antal ytråhetsparametrar för serien korrelerade med adhesionen. Av dessa parametrar fanns det några vars korrelation med adhesionen kan tänkas vara trivial (S_a , S_v , S_{vk} , S_y och S_{10z}). Även om korrelationen med bakterieadhesionen var verklig, kan dessa parametrar ses som mindre betydande i rapporteringen, då de anger information som andra parametrar anger på ett annat sätt. Andra parametrar, såsom S_q , S_{dr} , S_{cl37} , S_{dq} och S_{dc50_95} , ger en mångsidig bild av ytans struktur och deras korrelation med bakterieadhesionen ger information om vilken ytråhet och ytstruktur som gynnar bakterieadhesionen mest. När bakterieadhesionen undersöks är det ändamålsenligt att diskutera ifall en viss ytråhetsparameter har en direkt koppling till adhesionen, eller om korrelationen uppkommer på grund av att olika parametrar korrelerar med varandra istället för med bakterieadhesionen.

Eftersom de olika ytenergikomponenterna skiljde sig endast lite mellan de olika ytorna i serien och felgränserna var höga, var det svårt att dra slutsatser om hur adhesionen av *S. aureus* beror på ytenergin för ytorna. Generellt verkade ett lägre värde på γ^{tot} , γ^d och γ^+ och ett högre värde på γ^p och γ^- ge en högre bakterieadhesion. Ytråheten av substrat kan också påverka ytenergin, vilket kan vara orsaken till att resultatet i detta arbete inte helt stämmer överens med förväntningarna. Resultaten kan bero på ifall det endast är en viss egenskap som undersöks utan att andra tas i beaktande. Det är också mer ändamålsenligt att undersöka fler ytenergikomponenter än endast den totala energin för att en bättre bild av ytenergins påverkan på bakterieadhesionen ska fås.

Karakterisering av de olika polymerserierna visade att i stort sett samma ytstruktur kan uppnås med olika latexserier, även om den kommersiella serien hade en något högre ytråhet, vilket kan vara ett resultat av det faktum att olika latexer har olika egenskaper. För att hitta den optimala ytstrukturen för andra latexer kan det vara skäl att försöka optimera och finslipa

tillverkningsprocessen. Exempelvis kan mjukare latexer kräva en kortare IR-behandling än den kommersiella serien. Proven var också heterogena, vilket visades som höga felgränser för både ytråhet och ytenergi samt det faktum att det fanns skillnader mellan de olika serierna.

Sammanfattningsvis gynnas speciellt bakterieadhesionen av *S. aureus* av en högre ytråhet tillsammans med en lägre ytenergi (ökande hydrofobicitet) hos ett polärt negativt substrat med låg dispersiv ytenergikomponent. Dessa resultat kan öka medvetenheten om vilka faktorer som kan tänkas påverka bakterieadhesionen till olika ytor. Information om faktorer som påverkar bakterieadhesionen kan användas både då en minimal och en maximal bakterieadhesion är det som eftersträvas. Ytor som gynnar bakterieadhesionen kan tillämpas vid bakteriecellsstudier, som exempelvis den pappersbaserade plattformen som nämnts i denna avhandling. Vid tillverkning av pappersplattformen är det dock viktigt att försöka optimera processen så att exempelvis IR-behandlingen blir konsekvent och alla prov får samma behandling.

Vad gäller framtida undersökningar ligger det ett värde i att bakterieadhesionen till olika material ytterligare undersöks. Eftersom olika faktorer påverkar bakterieadhesionen på olika sätt och resultatet kan påverkas av ifall endast en viss faktor undersöks samtidigt som andra ignoreras, är det ändamålsenligt att endera undersöka flera egenskaper samtidigt eller åtminstone nämna ett möjligt beroende mellan olika faktorer, och inte dra slutsatser om en viss faktor.

Ytråheten har visat sig ha en stark koppling till bakterieadhesionen, vilket betyder att det är en faktor som kan påverka resultatet då andra faktorer undersöks. Då en viss egenskap undersöks är det lämpligt att också diskutera ytråhetens bidrag till resultatet, och i annat fall försöka eliminera ytråhetens bidrag genom att använda så jämna substrat som möjligt. Det finns också skäl att vidare undersöka hur ytråhet i olika skalor och geometriska former påverkar adhesionen av olika bakterietyper.

Referenser

- [1] V. Vadillo-Rodríguez, A. I. Guerra-García-Mora, D. Perera-Costa, M. L. González-Martín och M. C. Fernández-Calderón, "Bacterial Response to Spatially Organized Microtopographic Surface Patterns with Nanometer Scale Roughness," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 169, nr 1, s. 340-347, 2018.
- [2] H. Juvonen, "Protein Adsorption and Cell Adhesion to Nanostructured Paper Coatings", doktorsavhandling, Åbo Akademi, Åbo, 2016. ISBN: 978-952-12-3476-7.
- [3] H. Juvonen, T. Oja, A. Määttänen, J. Sarfraz, E. Rosqvist, T. Riihimäki, M. Toivakka, M. Kulomaa, P. Vuorela, A. Fallarero, J. Peltonen och P. Ihalainen, "Protein and Bacterial Interactions with Nanostructured Polymer Coatings," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 136, nr 1, s. 527-535, 2015.
- [4] A. Marmur, "Soft Contact: Measurement and Interpretation of Contact Angles," *Soft Matter*, vol. 2, nr 1, s. 12-17, 2006.
- [5] A. Marmur, "Solid-Surface Characterization by Wetting," *Annual Review of Materials Research*, vol. 39, nr 1, s. 473-489, 2009.
- [6] D. Bonn, "Wetting and Spreading," *Reviews of Modern Physics*, vol. 81, nr 2, s. 739-805, 2009.
- [7] D. Kwok och A. Neumann, "Contact Angle Measurement and Contact Angle Interpretation," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 81, nr 3, s. 167-249, 1999.
- [8] M. Gindl, G. Sinn, W. Gindl, A. Reiterer och S. Tschegg, "A Comparison of Different Methods to Calculate the Surface Free Energy of Wood Using Contact Angle Measurements," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 181, nr 1-3, s. 279-287, 2001.
- [9] D. Quéré, "Wetting and Roughness," *Annual Reviews of Materials Research*, vol. 38, nr 1, s. 71-99, 2008.

- [10] D. Bonn, "Wetting Transitions," *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, vol. 6, nr 1, s. 22-27, 2001.
- [11] J. Bico, U. Thiele och D. Quéré, "Wetting of Textured Surfaces," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 206, nr 1-3, s. 41-46, 2002.
- [12] S. Vedantam och M. V. Panchagnula, "Constitutive Modeling of Contact Angle Hysteresis," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 321, nr 2, s. 393-400, 2008.
- [13] R. Hebbbar, A. Isloor och A. Ismail, "Contact Angle Measurement," i *Membrane Characterization*, Elsevier, 2017, s. 219-255.
- [14] M. Katsikogianni och Y. Missirlis, "Concise Review of Mechanisms of Bacterial Adhesion to Biomaterials and of Techniques Used in Estimating Bacteria-Material Interactions," *European Cells and Materials*, vol. 8, s. 37-57, 2004.
- [15] A. Krishnan, Y.-H. Liu, P. Cha, R. Woodward, D. Allara och E. A. Vogler, "An Evaluation of Methods for Contact Angle Measurement," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 43, nr 2, s. 95-98, 2005.
- [16] L. M. Lander, L. M. Siewierski, W. J. Brittain och E. A. Vogler, "A Systematic Comparison of Contact Angle Methods," *Langmuir*, vol. 9, nr 8, s. 2237-2239, 1993.
- [17] C. Della Volpe, D. Maniglio, M. Brugnara, S. Siboni och M. Morra, "The solid surface free energy calculation I. In defense of the multicomponent approach," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 271, nr 2, s. 434-453, 2004.
- [18] M. Zenkiewicz, "Methods for the Calculation of Surface Free Energy of Solids," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 24, nr 1, s. 137-145, 2007.
- [19] S. Siboni, C. Della Volpe, D. Maniglio och M. Brugnara, "The solid surface free energy calculation II. The limits of the Zisman and of the "equation-of-state" approaches," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 271, nr 2, s. 454-472, 2004.

- [20] J. Tsibouklis, M. Stone, A. Thorpe, P. Graham, V. Peters, R. Heerlien, J. Smith, K. Green och T. Nevell, "Preventing Bacterial Adhesion Onto Surfaces: the Low-surface-energy Approach," *Biomaterials*, vol. 20, nr 13, s. 1229-1235, 1999.
- [21] G. Speranza, G. Gottardi, C. Pederzoli, L. Lunelli, R. Canteri, L. Pasquardini, E. Carli, A. Lui, D. Maniglio, M. Brugnara och M. Anderle, "Role of Chemical Interactions in Bacterial Adhesion to Polymer Surfaces," *Biomaterials*, vol. 25, nr 11, s. 2029-2037, 2004.
- [22] V. A. Tegoulia och S. L. Cooper, "Staphylococcus Aureus Adhesion to Self-assembled Monolayers: Effect of Surface Chemistry and Fibrinogen Presence," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 24, nr 3-4, s. 217-228, 2002.
- [23] L. C. Hsu, J. Fang, D. A. Borca-Tasciuc, R. W. Worobo och C. I. Moraru, "Effect of Micro- and Nanoscale Topography on the Adhesion of Bacterial Cells to Solid Surfaces," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 79, nr 8, s. 2703-2712, 2013.
- [24] L. C. de Medeiros Dantas, J. P. da Silva-Neto, T. S. Dantas, L. Z. Naves, F. D. das Neves och A. S. da Mota, "Bacterial Adhesion and Surface Roughness for Different Clinical Techniques for Acrylic Polymethyl Methacrylate," *International Journal of Dentistry*, vol. 2016, nr 2, s. 1-6, 2016.
- [25] B. Li och B. E. Logan, "Bacterial Adhesion to Glass and Metal-oxide Surfaces," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 36, nr 2, s. 81-90, 2004.
- [26] D. Claus, "A Standardized Gram Staining Procedure," *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 8, nr 4, s. 451-452, 1992.
- [27] Y. Liu och Q. Zhao, "Influence of Surface Energy of Modified Surfaces on Bacterial Adhesion," *Biophysical Chemistry*, vol. 117, nr 1, s. 39-45, 2005.
- [28] A. Määttänen, "Printed Platforms for Paper-Based Analytical Applications", doktorsavhandling, Åbo Akademi, Åbo, 2014. ISBN: 978-952-12-3119-3.
- [29] Image Metrology, "SPIP Classic Roughness Parameters for Images," [Online]. Tillgänglig: <http://www.imagemet.com/WebHelp6/Default.htm>. [Använd 7 November 2019].

- [30] F. Blateyron, "Profile Parameters," Digital Surf, 2006-2019. [Online]. Tillgänglig: <https://guide.digitalsurf.com/en/guide-profile-parameters.html>. [Använd 11 December 2019].
- [31] F. Blateyron, "Areal Field Parameters," Digital Surf, 2006-2019. [Online]. Tillgänglig: <https://guide.digitalsurf.com/en/guide-areal-field-parameters.html>. [Använd 11 December 2019].
- [32] K. Stout, *Development of Methods for the Characterisation of Roughness in Three Dimensions*, Penton Press, 2000, s. 216-246.

Bilagor

Bilaga 1. Tillverkarens specifikationer för CHP 5131.1 och CHP 5131.3²

		CHP 5131.1	CHP 5131.3
T_g (teor.)	°C	0	100
Partikelstorlek	nm	180	190
Polymerinnehåll	%	50	50
Butylakrylat	%	66	2,5
Styren	%	30	93,5
Metakrylsyra	%	4	4

² Dispersionerna innehöll också anjoniska och nonjoniska tensider

Bilaga 2. Ytråhetsdata för de kommersiella latexblandningarna.

	0:100	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	100:0
Sa (nm)	0,86	3,24	4,79	7,95	9,46	10,76	6,07	3,25	1,90
Sq (nm)	1,32	4,54	6,13	9,74	12,60	14,35	8,48	4,36	2,49
Ssk	2,00	1,60	0,97	0,07	-1,30	-1,23	-1,80	-1,22	-0,57
Sku	26,33	7,25	5,80	2,89	5,36	5,78	10,18	8,04	8,19
Sy (nm)	26,08	51,24	69,65	78,09	112,7 9	140,0 3	106,85	59,85	37,00
St (nm)	26,08	51,24	69,65	78,09	112,7 9	140,0 3	106,85	59,85	37,00
Sz (nm)	26,08	51,24	69,65	78,09	112,7 9	140,0 3	106,85	59,85	37,00
S10z (nm)	22,62	45,82	62,34	71,67	105,1 0	128,1 4	99,02	52,43	32,25
Sz_tph (nm)	22,62	45,82	62,34	71,67	105,1 0	128,1 4	99,02	52,43	32,25
Sds (1/μm²)	1745,4 1	1345,9 4	879,4 7	398,0 8	453,3 6	611,4 4	2661,6 0	1617,0 2	1612,4 2
Ssc (1/nm)	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,11	0,04	0,03
Sv (nm)	9,89	16,87	28,73	33,44	71,72	84,54	82,78	37,29	21,89
Sp (nm)	16,18	34,37	40,92	44,64	41,07	55,49	24,08	22,56	15,11
Smean (nm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sdq	0,08	0,14	0,18	0,25	0,40	0,43	0,37	0,16	0,10
Sdq6	0,08	0,13	0,17	0,24	0,39	0,43	0,31	0,14	0,09
Sdr (%)	0,36	1,09	1,48	3,12	7,08	8,41	6,46	1,34	0,59
S2A (nm²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S3A (nm²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sbi	0,62	0,49	0,53	0,62	0,88	0,88	0,84	0,78	0,68
Sci	1,67	2,03	1,89	1,55	0,98	0,99	1,06	1,16	1,39
Svi	0,10	0,06	0,07	0,10	0,20	0,20	0,19	0,18	0,14
Spk (nm)	2,96	9,72	10,29	10,14	7,69	10,02	5,53	3,83	2,77
Sk (nm)	2,07	7,23	12,98	25,70	20,55	23,75	16,20	8,96	5,83
Svk (nm)	1,27	2,55	3,36	6,99	24,46	27,46	15,30	7,21	3,14
Std (grader)	10,17	72,92	90,01	74,58	108,0 5	101,3 5	72,97	69,50	27,86
Stdi	0,63	0,77	0,79	0,78	0,78	0,77	0,81	0,75	0,51
Srw (nm)	1256,2 5	448,13	417,9 8	395,4 3	314,5 6	365,5 0	355,42	379,32	454,53
Srwi	0,10	0,07	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
Shw (nm)	245,09	413,77	424,4 4	411,4 4	324,2 5	329,7 9	337,32	390,85	405,33

Sfd	2,33	2,18	2,14	2,08	2,12	2,10	2,16	2,17	2,20
Scl20 (nm)	89,61	147,65	149,07	136,44	106,71	107,53	120,56	135,43	135,43
Str20	0,75	0,85	0,87	0,84	0,82	0,82	0,87	0,89	0,78
Scl37 (nm)	60,28	110,79	111,40	105,29	81,66	82,68	89,61	103,86	101,82
Str37	0,84	0,89	0,88	0,85	0,82	0,83	0,89	0,91	0,81
Sdc0_5 (nm)	14,02	25,31	29,22	28,71	26,52	38,69	13,59	16,85	11,43
Sdc5_10 (nm)	0,87	3,33	3,21	3,34	2,45	2,94	1,96	1,10	0,81
Sdc10_50 (nm)	1,48	6,82	9,76	12,85	9,13	10,64	7,42	4,08	2,80
Sdc50_95 (nm)	1,48	4,23		15,17	28,82	32,29	16,31	8,58	4,23

Bilaga 3. Ytråhetsdata för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på täckglas

	0:100	20:80	40:60	60:40	80:20	100:0
Sa (nm)	0,40	2,63	9,81	9,96	6,53	2,13
Sq (nm)	0,50	3,47	12,22	13,01	8,88	2,83
Ssk	-0,34	0,88	-0,19	-1,22	-1,46	0,57
Sku	3,83	4,93	3,01	4,72	6,04	17,16
Sy (nm)	5,30	33,24	94,75	114,43	86,16	39,51
St (nm)	5,30	33,24	94,75	114,43	86,16	39,51
Sz (nm)	5,30	33,24	94,75	114,43	86,16	39,51
S10z (nm)	4,75	30,09	85,35	102,72	75,07	31,10
Sz_tph (nm)	4,75	30,09	85,35	102,72	75,07	31,10
Sds (1/μm²)	911,22	627,93	67,01	56,65	95,85	184,82
Ssc (1/nm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sv (nm)	2,23	11,87	53,64	80,25	60,78	13,07
Sp (nm)	3,07	21,37	41,10	34,18	25,38	26,43
Smean (nm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sdq	0,06	0,08	0,20	0,33	0,23	0,08
Sdq6	0,05	0,07	0,20	0,33	0,23	0,08
Sdr (%)	0,17	0,36	2,17	5,21	2,63	0,32
S2A (nm²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S3A (nm²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sbi	0,69	0,54	0,63	0,85	0,88	0,68
Sci	1,35	1,82	1,49	1,02	0,97	1,39
Svi	0,14	0,09	0,12	0,19	0,20	0,13
Spk (nm)	0,53	5,87	10,35	6,95	5,08	3,80
Sk (nm)	1,13	7,27	32,31	22,38	15,15	6,38
Svk (nm)	0,64	2,57	12,29	24,30	17,31	3,36
Std (grader)	89,49	72,36	81,51	98,02	127,12	19,79
Stdi	0,69	0,74	0,77	0,76	0,80	0,45
Srw (nm)	942,52	1215,98	724,00	511,71	739,84	859,79
Srwi	0,25	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08
Shw (nm)	106,66	609,52	496,84	328,12	340,12	380,91
Sfd	2,61	2,29	2,06	2,08	2,10	2,21
Scl20 (nm)	34,86	216,24	157,78	103,96	112,52	129,65
Str20	0,66	0,80	0,82	0,80	0,88	0,71
Scl37 (nm)	23,85	173,19	125,98	81,95	86,84	90,51
Str37	0,66	0,84	0,81	0,79	0,89	0,70
Sdc0_5 (nm)	2,34	14,97	21,98	18,85	15,08	22,30

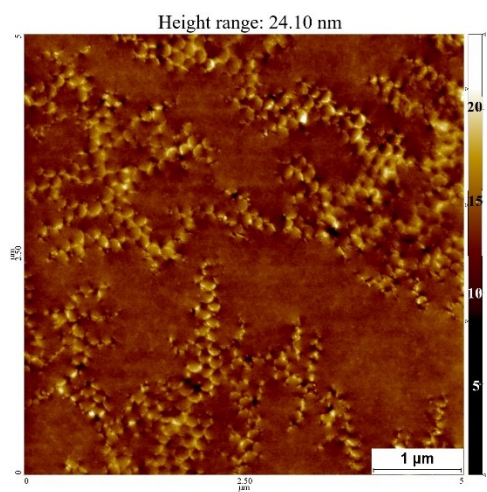
Sdc5_10 (nm)	0,15	1,92	3,83	2,47	1,74	0,94
Sdc10_50 (nm)	0,53	4,99	15,08	9,74	6,69	3,12
Sdc50_95 (nm)	0,97	4,38	20,83	30,14	20,04	4,84

Bilaga 4. Ytråhetsdata för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper

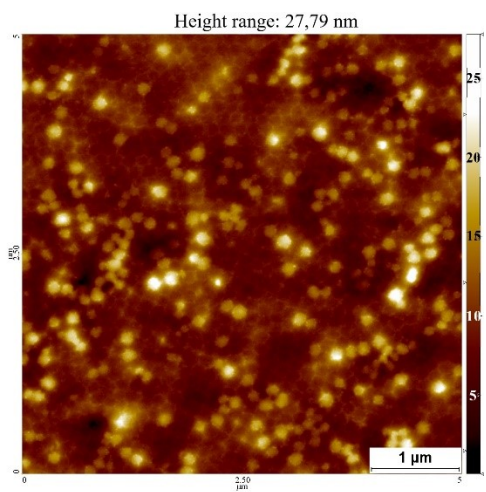
	0:100	20:80	40:60	50:50	60:40	80:20	100:0
Sa (nm)	0,60	1,30	11,32	7,49	5,64	2,12	1,57
Sq (nm)	1,16	2,40	14,61	9,91	8,68	3,11	2,53
Ssk	4,70	3,23	0,32	1,71	-0,25	1,88	4,62
Sku	87,75	43,21	6,99	37,78	10,43	30,12	103,69
Sy (nm)	33,95	50,63	139,15	116,79	114,46	53,71	60,84
St (nm)	33,95	50,63	139,15	116,79	114,46	53,71	60,84
Sz (nm)	33,95	50,63	139,15	116,79	114,46	53,71	60,84
S10z (nm)	26,92	42,53	116,04	103,29	103,74	43,36	49,88
Sz_tph (nm)	26,92	42,53	116,04	103,29	103,74	43,36	49,88
Sds (1/μm²)	856,60	708,51	203,57	429,71	310,02	582,35	489,08
Ssc (1/nm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sv (nm)	9,42	15,62	58,65	59,29	52,75	21,21	18,33
Sp (nm)	24,54	35,01	80,51	57,50	61,71	32,50	42,51
Smean (nm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sdq	0,07	0,08	0,23	0,18	0,14	0,10	0,11
Sdq6	0,06	0,08	0,22	0,17	0,14	0,09	0,10
Sdr (%)	0,28	0,37	2,72	1,78	1,25	0,60	0,64
S2A (nm²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S3A (nm²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sbi	1,11	0,87	0,65	0,75	0,77	0,80	1,16
Sci	1,06	1,40	1,49	1,38	1,29	1,30	1,03
Svi	0,11	0,10	0,12	0,11	0,14	0,12	0,12
Spk (nm)	3,10	5,64	17,26	11,63	14,02	5,85	5,14
Sk (nm)	1,46	2,76	36,34	22,74	13,82	5,48	4,32
Svk (nm)	1,15	2,53	13,40	11,04	12,29	3,73	2,91
Std (grader)	8,78	21,26	100,04	69,31	100,20	8,07	51,71
Stdi	0,52	0,54	0,70	0,64	0,66	0,38	0,57
Srw (nm)	747,74	1282,39	1419,56	1528,87	1664,73	2017,61	1494,96
Srwi	0,12	0,07	0,05	0,06	0,04	0,08	0,09
Shw (nm)	230,00	425,79	505,35	442,28	633,93	343,99	289,80
Sfd	2,47	2,34	2,13	2,24	2,16	2,33	2,31
Scl20 (nm)	91,00	174,17	161,45	141,88	201,57	117,42	97,85
Str20	0,71	0,69	0,75	0,73	0,58	0,63	0,63
Scl37 (nm)	63,60	122,31	129,65	110,57	152,64	89,04	66,54

Str37	0,78	0,72	0,76	0,75	0,67	0,80	0,69
Sdc0_5 (nm)	23,45	32,11	57,31	42,63	50,74	28,17	39,63
Sdc5_10 (nm)	0,40	1,27	5,54	3,55	3,11	1,36	0,73
Sdc10_50 (nm)	0,79	1,85	18,09	11,08	7,64	3,08	2,27
Sdc50_95 (nm)	1,16	2,46	22,61	16,18	13,08	4,50	3,36

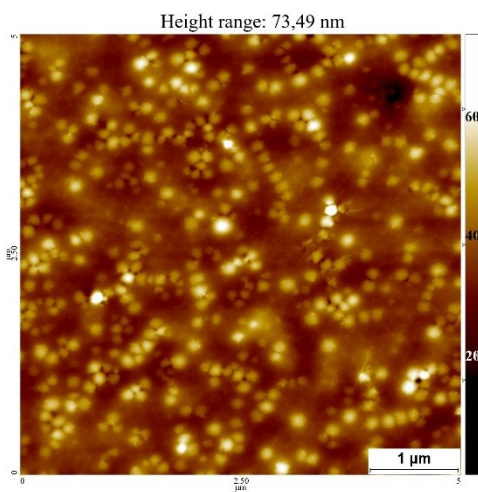
Bilaga 5. AFM-bilder för hela den kommersiella serien.



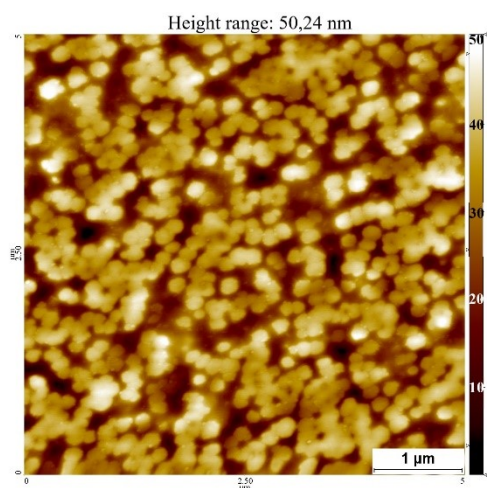
a) 0:100



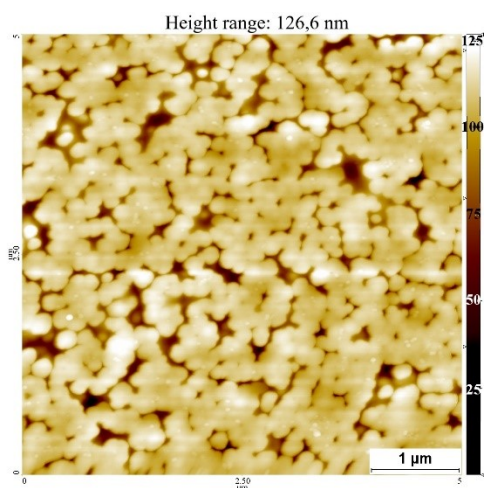
b) 20:80



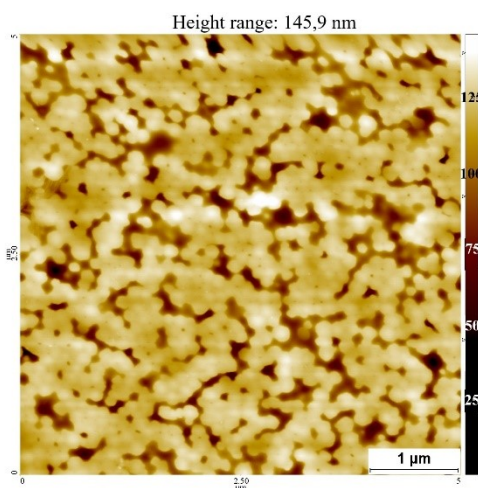
c) 30:70



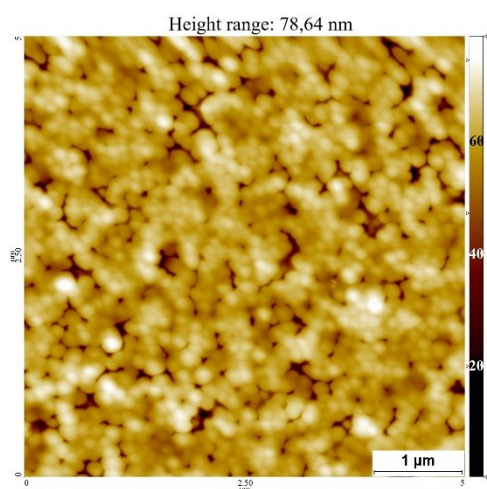
d) 40:60



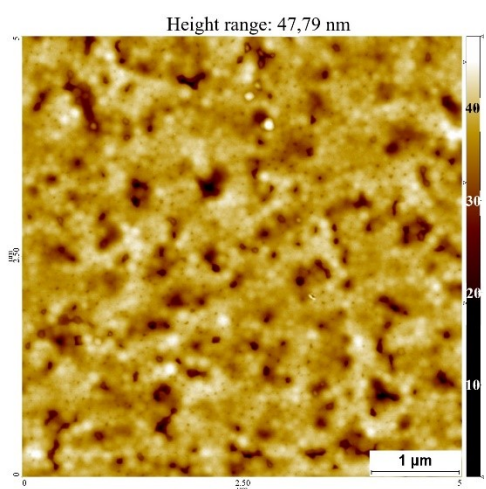
e) 50:50



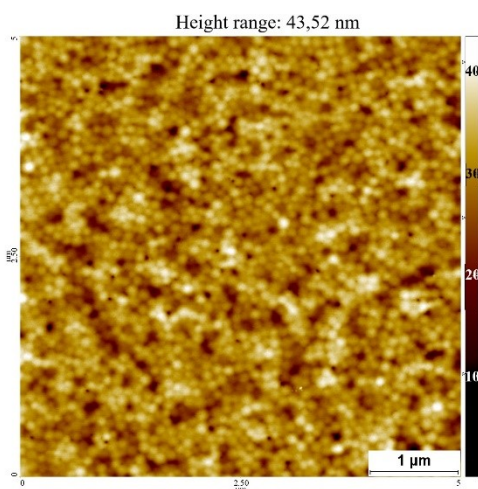
f) 60:40



g) 70:30

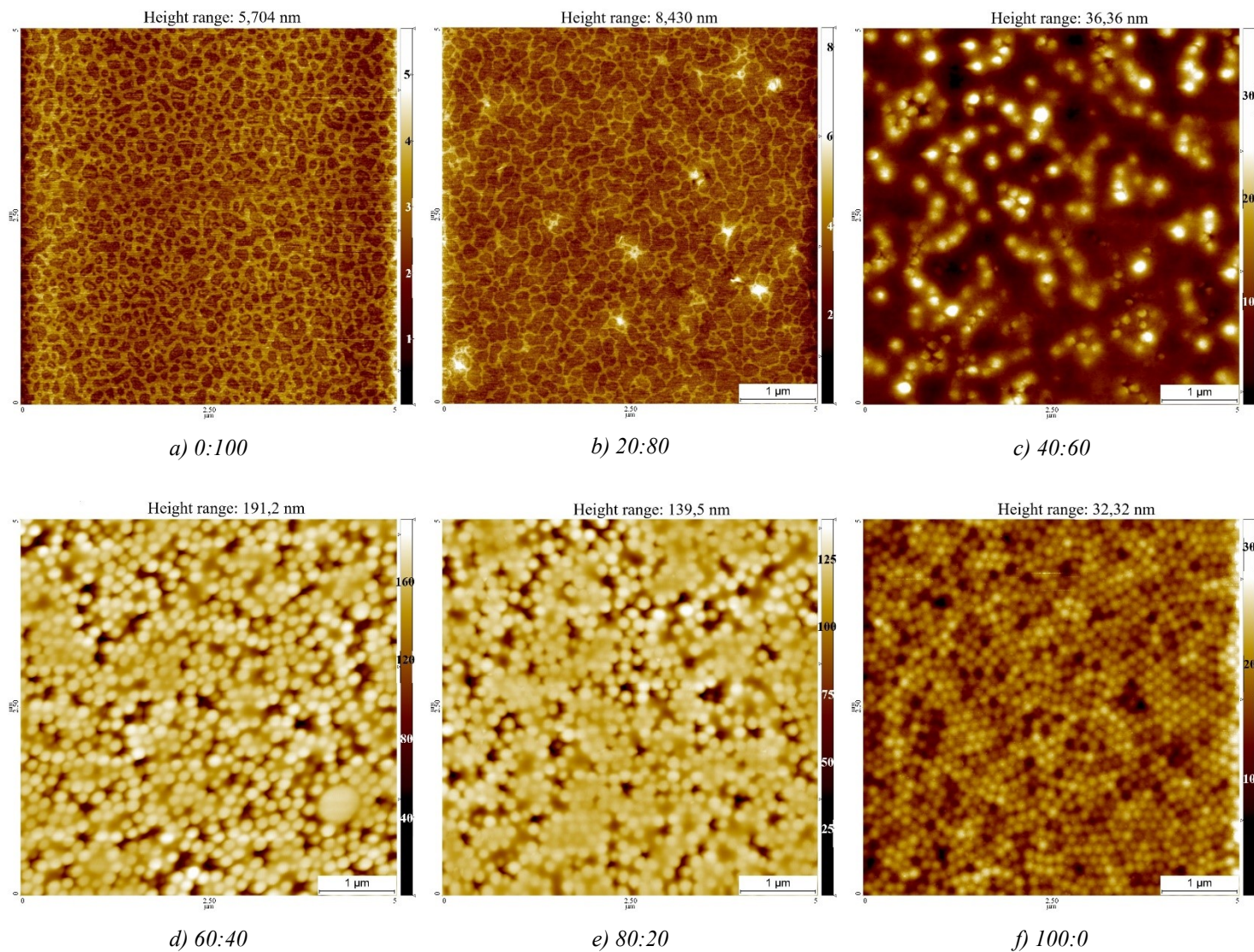


h) 80:20

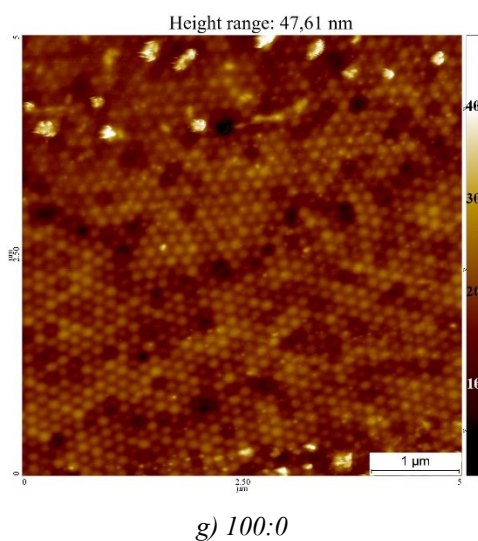
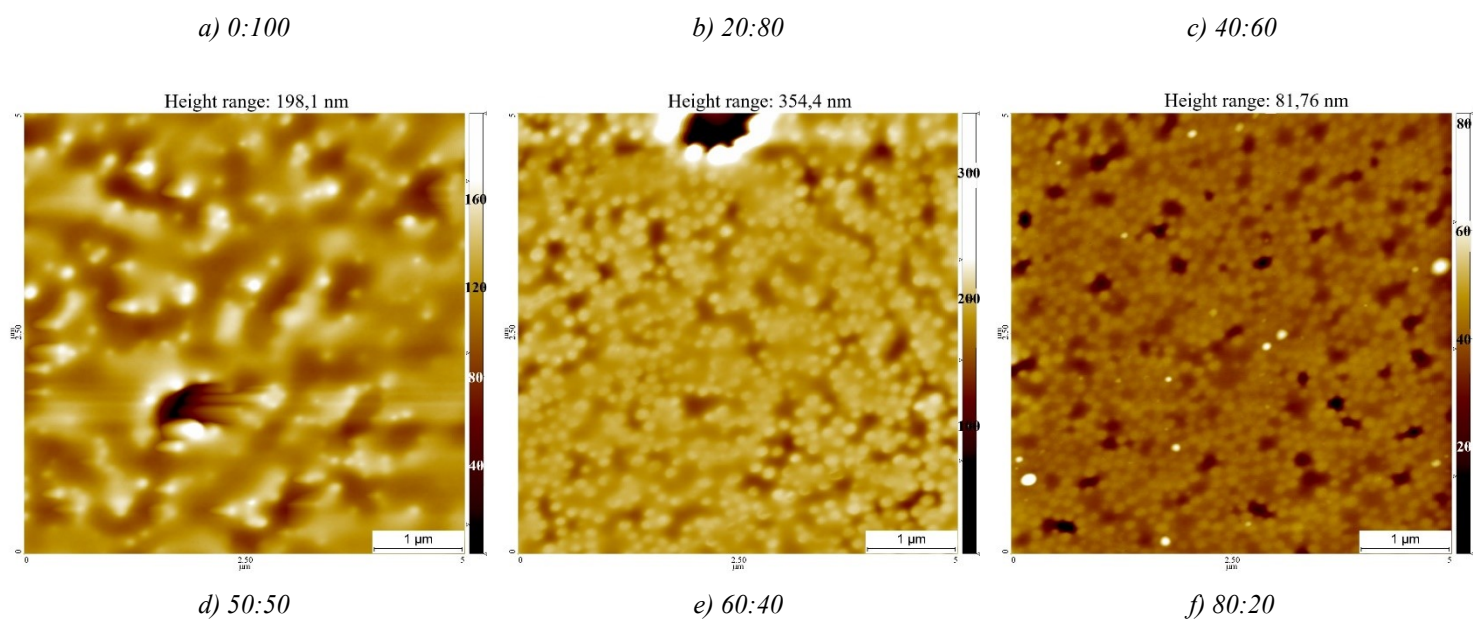
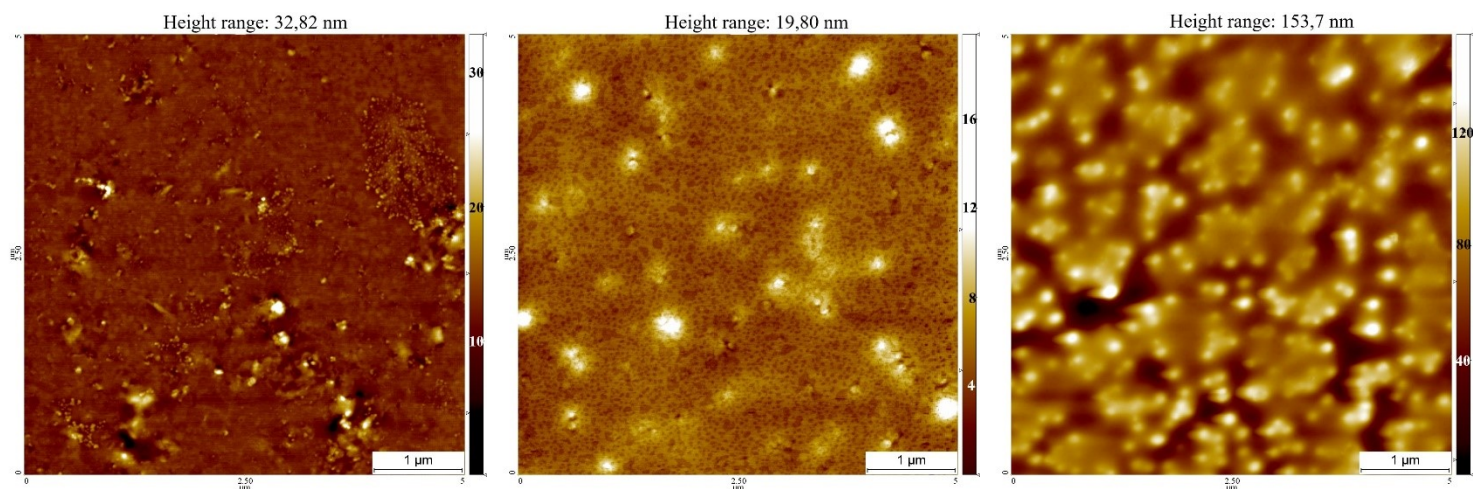


i) 100:0

Bilaga 6. AFM-bilder för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på glas.

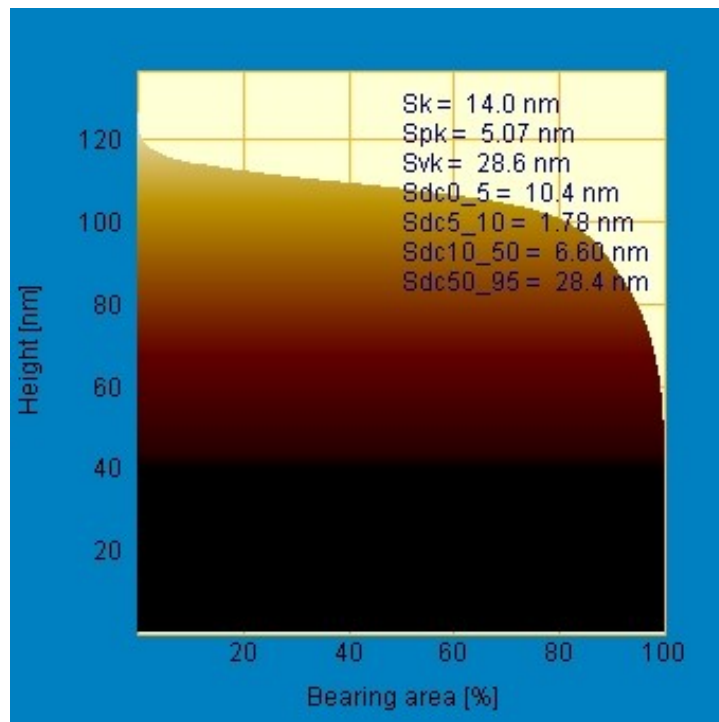


Bilaga 7. AFM-bilder för CHP 5131.3:CHP 5131.1 på papper.



Bilaga 8. Kontaktvinklarna för alla serier, korregerade med S_{dr} .

Kommersiell serie				CHP 5131.3:CHP 5131.1 (glas)			CHP 5131.3:CHP 5131.1 (papper)		
	θ_W (°)	θ_{EG} (°)	θ_{DIM} (°)	θ_W (°)	θ_{EG} (°)	θ_{DIM} (°)	θ_W (°)	θ_{EG} (°)	θ_{DIM} (°)
0:100	71,82	38,84	34,55	78,82	79,18	55,16	65,19	67,93	46,02
20:80	73,57	42,53	34,80	80,46	76,12	49,62	64,06	69,78	49,79
40:60	76,71	48,48	42,41	84,11	76,04	53,46	72,97	69,17	51,39
50:50							74,32	72,80	48,03
60:40	75,76	46,55	41,59	86,48	75,58	53,74	78,92	75,55	51,45
80:20	80,00	45,12	32,88	78,67	70,09	43,94	76,63	72,65	52,98
100:0	90,21	46,06	29,86	82,78	46,90	28,86	90,11	66,08	32,71

Bilaga 9. Abbott-Firestone kurva för en kommersiell 50:50-yta³.

³ Abbott-Firestone kurvan visar höjden mot procentandelen av ytan som ligger på denna specifika höjd. I detta fall visas endast en graf för en kommersiell latexyta med blandningsförhållandet 50:50, direkt tagen från bildanalysprogrammet SPIP. Grafen hade i stort sett samma form för alla latexytor, och eftersom alla parametrar som syns vid grafen också finns listade i andra bilagor låg det inget värde i att visa Abbott-Firestones kurva för alla ytor i detta arbete, utan bara exempel på hur grafen kan se ut. De absoluta värdena i grafen varierade mellan olika ytor.